



TESIS - RC142501

PEMODELAN SAMBUNGAN KOLOM CONCRETE FILLED STEEL TUBE (CFT) DENGAN BALOK BAJA AKIBAT BEBAN SIKLIK

AGUSTINA DWI ATMAJI
NRP. 03111350020012

DOSEN PEMBIMBING :
BUDI SUSWANTO, S.T., M.T., PhD.
ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

PEMODELAN SAMBUNGAN KOLOM CONCRETE FILLED STEEL TUBE (CFT) DENGAN BALOK BAJA AKIBAT BEBAN SIKLIK

AGUSTINA DWI ATMAJI
NRP. 03111350020012

DOSEN PEMBIMBING :
BUDI SUSWANTO, S.T., M.T., Ph.D.
ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - RC142501

MODELING OF CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMN TO STEEL BEAM UNDER CYCLIC LOADING

AGUSTINA DWI ATMAJI
NRP. 03111350020012

SUPERVISOR :
BUDI SUSWANTO, S.T., M.T., Ph.D.
ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D

POST GRADUATE PROGRAM
MASTER PROGRAM OF STRUCTURE
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

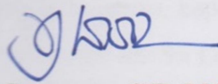
Agustina Dwi Atmaji

NRP. 03111350020012

Tanggal Ujian : 5 April 2018

Periode Wisuda : September, 2018

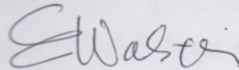
Disetujui oleh:



1. Budi Suswanto, S.T. M.T. Ph.D.

(Pembimbing I)

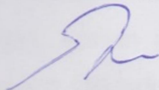
NIP. 197301281998021002



2. Endah Wahyuni, S.T. M.Sc. Ph.D.

(Pembimbing II)

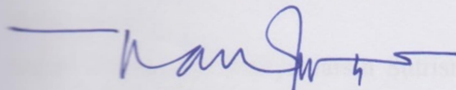
NIP. 197002011995122001



3. Data Iranata, S.T. M.Sc. Ph.D.

(Penguji)

NIP. 198004302005011002



4. Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S

(Penguji)

NIP. 195902131987011001



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan

DAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 19750212 199903 2001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT., atas segala karunia dan ridho-Nya, sehingga tesis dengan judul “Pemodelan Sambungan Kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan Balok Baja akibat Beban Siklik” ini dapat diselesaikan.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Struktur pada program studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih yang sebesar besarnya, kepada :

1. Bapak Drs. Suraji dan ibu Sri Lestari Dwi Viryanti, S.E., yang selalu memberikan doa restu, kasih sayang dan dukungan moral.
2. Suamiku Supriadi S.T., yang selalu memberikan dukungan dan doa dalam setiap langkah yang saya ambil. Serta anakku Muhammad Azzam Adinata atas pengertian dan kebaikan selama pengerjaan tesis ini.
3. Bapak Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D, dan ibu Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D., atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi dosen pembimbing dan masa perkuliahan.
4. Bapak Data Iranata, S.T. M.Sc. Ph.D., dan bapak Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. atas bimbingannya.
5. Asdam Tambusay, Wahyuniarsih Sutrisno, dan Dita Kamarul Fitriyah atas bantuan arahan dan penjelasan sesuatu yang susah saya pahami. Dan teman-teman yang lain yang telah memberi dukungan pada pengerjaan thesis ini

Pemodelan Sambungan Kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan Balok Baja akibat Beban Siklik.

Nama Mahasiswa : Agustina Dwi Atmaji
NRP : 03111350020012
Pembimbing : Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Berbagai macam teknologi struktur mulai berkembang pesat, salah satunya adalah baja komposit. Baja komposit (*Concrete Filled Steel Tube*) merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Dibandingkan dengan baja konvensional, kolom ini memiliki banyak keuntungan seperti bekisting nyaman untuk inti beton yang disediakan oleh tabung baja, meningkatkan kekuatan dan memiliki daktilitas yang baik. Sementara banyak keuntungan ada, penggunaannya dalam konstruksi bangunan dibatasi dengan kurangnya pengalaman konstruksi dan kompleksitas koneksi.

Sheet et al (2013) telah melakukan pengujian sambungan kolom CFT dan balok baja dengan membandingkan beberapa variasi sambungan balok baja dengan kolom CFT, dimana membandingkan hasil kegagalan sambungan, *displacement*, dan kekuatan geser *ultimate* untuk setiap sambungan.

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sheet et al (2013) dengan mempertimbangkan variasi kolom CFT pada sambungan menggunakan program bantu ABAQUS. Pemodelan akan dilakukan dengan benda uji balok $203 \times 133 \times 7.8 \times 5.8$ mm dan kolom CFT dimensi rectangular $220 \times 220 \times 6$ mm, serta circular $\varnothing 220$ mm $t = 8$ mm. Hasil penelitian mendekati dengan hasil eksperimen sebelumnya, pemodelan telah memenuhi ketentuan dari pemodelan sambungan kolom-balok yang dapat dipakai pada sistem struktur rangka baja beton komposit tahan gempa pemikul momen biasa. Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan, pemodelan telah memenuhi sambungan yang memiliki kemampuan daktilitas yang cukup.

Kata kunci : Balok Baja, Kolom Concrete Filled Steel Tube, Displacement, Sambungan.

Modelling of Concrete Filled Steel Tube Column to Steel Beam Under Cyclic Loading

Name : Agustina Dwi Atmaji
NRP : 03111350020012
Supervisor : Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Various types of structural technology began to develop rapidly, one of which was composite steel. Composite steel (Concrete Filled Steel Tube) is a structure consisting of two or more materials with different material properties and form a single unit so as to produce better combined properties. Compared to conventional steel, this column has many advantages such as convenient formwork for the core the concrete provided by the steel tube, increases strength and has good ductility. While many advantages exist, their use in building construction is limited by lack of construction experience and connection complexity.

Sheet et al (2013) have tested the connection of CFT columns and steel beams by comparing several variations of steel beam joints with CFT columns, which compare the results of joint failure, displacement, and ultimate shear strength.

This study refers to the research conducted by Sheet et al (2013) by considering variations in the CFT column on the connection using the ABAQUS auxiliary program. Modeling will be carried out with a test object of $203 \times 133 \times 7.8 \times 5.8$ mm and CFT column dimensions of rectangular $220 \times 220 \times 6$ mm, and circular $\varnothing 220$ mm $t = 8$ mm. The results of the study are close to the results of previous experiments, modeling has fulfilled the provisions of the column-beam connection modeling that can be used in the structural system of earthquake-resistant composite concrete frame steel bearers. Based on the modeling results that have been done, modeling has fulfilled the connection that has sufficient ductility capability.

Key words : Column Concrete Filled Steel Tube, Connection, Displacement, Steel Beam

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Daftar Isi	ii
Daftar Gambar	iv
Daftar Tabel	v
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Studi	4
BAB II Tinjauan Pustaka	
2.1 <i>Concrete Fill Steel Tube</i> (CFT)	5
2.1.1 <i>Design</i> Kolom CFT	9
2.1.2 Kekuatan Geser dari Kolom.....	13
2.2 Sambungan Kolom-Balok	14
2.2.1 Sambungan Las	14
2.2.2 Sambungan Baut	16
2.2.3 Sambungan Konvensional	17
2.2.4 Perkembangan Sambungan	18
2.3 <i>Strong Coloumn Weak Beam</i>	19
2.3.1 Kontrol Momen Plastis	21
2.3.2 Kontrol Panel Zone	22
BAB III Metodologi Penelitian	
3.1 Umum	23
3.2 Studi Literatur	24
3.3 Penentuan tipe sambungan antara kolom CFT dengan balok baja	24
3.4 Hasil eksperimental dari jurnal (Sheet et al, 2013).....	25
3.5 Pemodelan Sambungan antara <i>Kolom Concrete Filled Steel Tube</i> dengan balok baja WF	26
3.6 Pembebanan	30
3.7 Analisa Pemodelan.....	31

3.8 Validasi Hasil Eksperimental.....	31
3.9 Pemodelan Lanjutan	31
3.10 Hasil Pemodelan Portal	32
BAB IV Pembahasan	
4.1 Data Pemodelan	33
4.2 Metode <i>Finite Elemen</i>	34
4.2.1 Pemodelan	34
4.2.2 Material Pemodelan	35
4.2.3 Modul <i>Assembly</i>	37
4.2.4 Pembebanan	37
4.2.5 <i>Boundary Condition</i>	39
4.2.6 <i>Interaction</i>	40
4.2.7 <i>Mesh</i>	41
4.2.8 <i>Job</i>	42
4.3 Hasil Pemodelan Sambungan dengan Program Bantu Abaqus.....	42
4.3.1 Hubungan antara Beban Lateral dan Displacement	42
4.3.1.1 <i>Hysteresis Loops</i>	42
4.3.2 Daktilitas	43
4.3.3 <i>Drift Ratio</i>	44
4.3.4 <i>Envelope Curve</i>	45
4.3.5 <i>Deformation shape</i> Pemodelan dengan Program Bantu <i>Finite Element</i>	45
4.3.5.1 Analisa Distribusi Tegangan pada pemodelan A1 dan A2	46
4.4 Verifikasi Hasil Eksperimen	49
4.6 <i>Buckle</i>	52
4.7 Pemodelan Lanjutan.....	54
4.7.1 Analisa Distribusi Tegangan pada pemodelan B1	56
BAB V Kesimpulan	59
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sambungan Pengaku dan kekuatan mekanisme transfer	2
Gambar 2.1 Berbagai bentuk kolom komposit atau <i>concrete filled steel tube</i>	5
Gambar 2.2 Model 1-C5-18-5	8
Gambar 2.3 <i>Cross section</i>	12
Gambar 2.4 <i>Stresses in concrete panel</i>	14
Gambar 2.5 Ukuran las sudut	15
Gambar 2.6 Sambungan konvensional antara balok baja dengan kolom CFT	18
Gambar 2.7 Inovasi sambungan antara balok baja dengan kolom CFT	18
Gambar 2.8 Sambungan dengan pengaku T antara balok baja dengan kolom CFT	19
Gambar 2.9 Perbandingan mekanisme kolaps antara “ <i>undesirable</i> dan <i>desirable</i> ”	20
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian	24
Gambar 3.2 Test set-up yang dilakukan	25
Gambar 3.3 Hasil eksperimental spesimen 1 dan 2	26
Gambar 3.4 Geser kolom (V_c) vs. <i>drift ratio</i> (%).....	26
Gambar 3.5 <i>Specimen A1</i>	27
Gambar 3.6 <i>Specimen A2</i>	27
Gambar 3.7 Skema pemodelan dalam program ABAQUS.....	28
Gambar 3.8 Kurva tegangan-regangan beton	29
Gambar 3.9 Kurva tegangan regangan baja	30
Gambar 3.10 Prosedur pembebanan sesuai dengan Sheet et al	30
Gambar 3.11 Pemodelan lanjutan dalam program Abaqus.....	32
Gambar 4.1 Type sambungan pemodelan A1 pada Abaqus	34
Gambar 4.2 Type sambungan pemodelan A2 pada Abaqus	34
Gambar 4.3 Variasi bentuk kolom pada modul <i>part</i>	34
Gambar 4.4 Jenis material pada modul <i>properties</i>	35
Gambar 4.5 Parameter material baja.....	36
Gambar 4.6 Parameter material beton	36
Gambar 4.7 Modul <i>assembly</i>	37
Gambar 4.8 Step pemodelan	38
Gambar 4.9 Prosedur pembebanan siklik.....	38
Gambar 4.10 Pembebanan pada program Abaqus	39

Gambar 4.11 <i>Boundary condition</i> pada pemodelan	39
Gambar 4.12 Interaksi antara beton dengan baja	40
Gambar 4.13 Interaksi antara baja dengan baja	41
Gambar 4.14 Pemislihan jenis <i>mesh</i>	41
Gambar 4.15 <i>Hyteresis loop</i> spesimen A1	43
Gambar 4.16 <i>Hyteresis loop</i> spesimen A2	43
Gambar 4.17 <i>Envelope curve</i> pemodelan A1 dan A2	45
Gambar 4.18 Tegangan Normal (S11) (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	46
Gambar 4.19 Tegangan Normal (S22) (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	47
Gambar 4.20 Tegangan Normal (S33) (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	47
Gambar 4.21 <i>Max principal stress</i> (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	48
Gambar 4.22 Tegangan S12 (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	49
Gambar 4.23 Tegangan S13 (MPa) : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2	49
Gambar 4.24 Perbandingan <i>hyteresis loop</i> eksperimen dengan spesimen A1	51
Gambar 4.25 Perbandingan <i>hyteresis loop</i> eksperimen dengan spesimen A2	51
Gambar 4.26 Kurva <i>force-displacement</i> model A1 dengan metode <i>static-risk</i>	53
Gambar 4.27 Kurva <i>force-displacement</i> model A2 dengan metode <i>static-risk</i>	53
Gambar 4.28 Pemodelan lanjutan dalam program Abaqus	54
Gambar 4.29 <i>Hyteresis loop</i> spesimen B1	55
Gambar 4.30 <i>Envelope curve</i> pemodelan B1	55
Gambar 4.31 Distribusi tegangan pada pemodelan lanjutan (a) S11; (b) S22; (c) S33	56
Gambar 4.32 Distribusi tegangan pada pemodelan lanjutan (a) S12; (b) S13	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tes matriks balok-kolom	7
Tabel 2.2 Ukuran minimum las sudut	15
Tabel 2.3 Jarak tepi minimum	17
Tabel 3.1 Hasil eksperimental Sheet et al(2013)	25
Tabel 3.2 Dimensi benda uji	28
Tabel 3.3 Material Benda Uji Baja	29
Tabel 4.1 Spesimen pemodelan Abaqus	33
Tabel 4.2 Faktor daktilitas pemodelan A1 dan A2	44
Tabel 4.3 <i>Drift ratio</i> pemodelan A1 dan A2	44
Tabel 4.4 Verifikasi eksperimen dengan pemodelan A1	50
Tabel 4.5 Verifikasi eksperimen dengan pemodelan A2	50
Tabel 4.6 Perbandingan hasil pemodelan A1 dengan eksperimental	52
Tabel 4.7 Perbandingan hasil pemodelan A2 dengan eksperimental	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

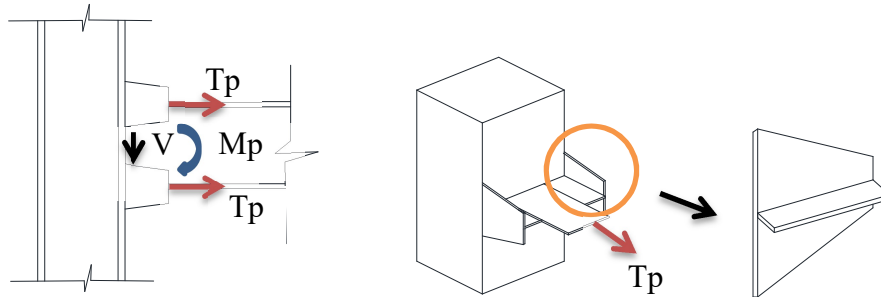
Perkembangan struktur bangunan saat ini sangat pesat. Berbagai macam teknologi mulai berkembang, salah satunya adalah baja komposit. Struktur komposit (*Composite*) merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis.

Baja komposit atau baja yang diisi dengan beton (*Concrete Filled Steel Tube*) menggambarkan minat yang luas sebagai salah satu struktur baja pada kolom. Dibandingkan dengan baja konvensional atau kolom komposit lainnya, kolom ini memiliki banyak keuntungan seperti bekisting nyaman untuk inti beton yang disediakan oleh tabung baja. Keuntungan lain *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) adalah meningkatkan kekuatan dan memiliki daktilitas yang baik (Fukumoto, 2005). Sementara banyak keuntungan ada, penggunaannya dalam konstruksi bangunan telah dibatasi karena kurangnya pengalaman konstruksi dan kompleksitas koneksi.

Beberapa strategi peningkatan dapat diterapkan dalam sambungan baja komposit (CFT), seperti menggunakan bentuk kolom penampang yang berbeda dengan berbagai konfigurasi pengaku. Mengenai sambungan dari baja komposit (CFT), sambungan paling mudah adalah dengan memasang balok baja WF melalui pengaku sambungan eksternal. Ini adalah metode yang efisien mengenai kedua manufaktur dan pengecoran beton di dalam kolom. Pengaku mengurangi konsentrasi tegangan pada dinding baja kolom mencegah dari kegagalan. Oleh karena itu, penyelidikan baru-baru ini telah berfokus pada pengembangan berbagai bentuk pengaku. Banyak karya penelitian baru-baru ini dilakukan mempelajari hubungan antara balok baja WF dan kolom CFT. Detail sambungan CFT dapat memiliki tingkat kesulitan yang berbeda pada fabrikasi dan sifat kekakuan. Secara umum, pengelasan balok langsung ke kulit tabung cukup fleksibel, sementara pengelasan melalui kolom CFT cukup kaku. (Alostaz, 1996).

Beberapa pengujian sambungan balok dengan kolom CFT telah dilakukan. Pada Gambar 1.1 menunjukkan sayap balok WF gaya tarik ditransfer melalui elemen pelat

horizontal, elemen pelat vertikal, dan melalui badan balok WF dari CFT persegi panjang. Tujuannya adalah untuk memindahkan plastisitas jauh dari kolom dan sendi (Shin, Kim et al. 2004). Namun, jalur beban tidak langsung dan di sebagian besar kegagalan tes terjadi oleh fraktur pada pengelasan untuk baja kolom.



Gambar 1.1 Sambungan pengaku dan kekuatan mekanisme transfer
(Shin, Kim et al. 2004)

Sheet et al (2013) melakukan uji eksperimental pada sambungan kolom komposit dengan balok baja dengan pengaku eksternal menghasilkan sudut simpangan yang stabil lebih dari 5%. Sendi plastis benda uji terjadi pada balok dan jauh dari muka kolom.

Dari hasil eksperimental Sheet et al (2013) tersebut diverifikasi dengan program bantu (ABAQUS). Pada tesis ini fokus pada sambungan antara kolom baja komposit atau *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dan balok baja dengan parameter utama mempertimbangkan dua variasi bentuk kolom, yaitu rectangular dan circular. Permodelan menggunakan software ABAQUS 6.14.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimanakah pembebanan yang terjadi pada pemodelan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS 6.14?
2. Bagaimana memodelkan sambungan antara dua bentuk kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS 6.14?
3. Bagaimana perilaku sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF yang dihasilkan dalam program bantu ABAQUS 6.14?

4. Bagaimana beban lateral, *displacement*, dan kekakuan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF terhadap bentuk kolom?
5. Apakah pemodelan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS telah sesuai atau mendekati dengan hasil beban lateral dan *displacement* pada eksperimental (Sheet et al, 2013)?
6. Bagaimana beban lateral, *displacement*, dan kekakuan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF pada pemodelan lanjutan?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penyusunan thesis ini adalah :

1. Mengetahui pembebanan yang terjadi pada pemodelan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS 6.14.
2. Mengetahui memodelkan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS 6.14.
3. Mengetahui perilaku sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF yang dihasilkan dalam program bantu ABAQUS 6.14.
4. Mengetahui beban lateral dan *displacement* sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF terhadap variasi bentuk kolom.
5. Mendapatkan hasil pemodelan pengaku sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam program bantu ABAQUS telah sesuai atau mendekati dengan hasil beban lateral dan *displacement* pada eksperimental (Sheet et al, 2013).
6. Mengetahui beban lateral dan *displacement* sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF pada pemodelan lanjutan.

1.4 Batasan Masalah

Lingkup pembahasan yang akan dianalisa mencakup :

1. Analisa perilaku sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF menggunakan Finite Element Analysis (FEM) menggunakan ABAQUS 6.14.

2. Kolom yang digunakan adalah *Rectangular Concrete Filled Steel Tube* dan *Circle Concrete Filled Steel Tube*. Balok yang digunakan adalah balok baja WF.
3. Tidak menghitung struktur secara keseluruhan.
4. Tidak melakukan penelitian secara eksperimen.
5. Tidak meninjau aspek ekonomis.

1.5 Manfaat studi

Manfaat yang dapat diberikan thesis ini adalah sebagai berikut :

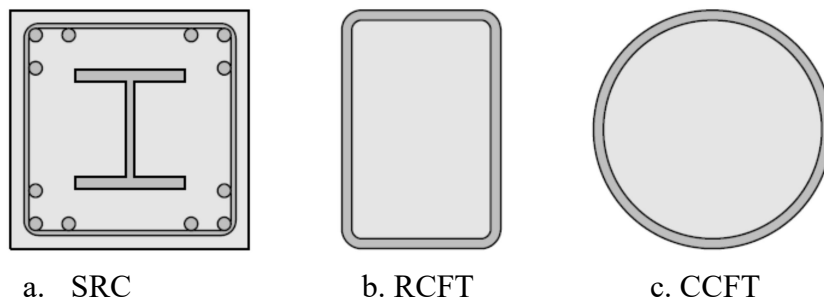
1. Sebagai bahan masukan bagi konstruksi baja pada bangunan baja komposit pada strukturnya.
2. Sebagai bahan pertimbangan jenis pengaku yang akan digunakan dalam mendesain konstruksi bangunan baja terutama struktur baja komposit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Concrete Fill Steel Tube (CFT)

Dalam baja dan konstruksi beton komposit, dua bahan yang terintegrasi dalam anggota struktural dapat menggabungkan keuntungan pada masing-masing material. Struktur baja memiliki kekuatan tinggi, daktilitas, dan cepat untuk proses pembuatan. Beton bertulang menyediakan kekakuan tinggi dan ekonomis, tahan api dan tahan lama. Anggota komposit yang berbeda memberikan keuntungan yang berbeda melalui penggunaan yang bijaksana dari bahan tersebut. Ada beberapa jenis kolom komposit, baja terbungkus beton yang paling dasar dan umum adalah (SRC) di mana bentuk baja terbungkus dengan kolom beton dan tabung baja beton penuh (CFT) adalah suatu tabung luar diisi dengan beton. Tabung Beton penuh umumnya ditunjuk oleh bentuk tabung baja, yaitu, persegi panjang dan persegi (RCFT) atau lingkaran (CCFT) (Denavit, 2012).



Gambar 2.1 Berbagai bentuk kolom komposit atau *concrete fill steel tube* (CFT)

Studi pada CFT di Jepang dimulai sejak tahun 1960. Selain itu, studi yang signifikan dilakukan sebagai bagian dari tahap kelima dari AS-Jepang Cooperative Program Penelitian pada tahun 1993 (Goel, 1998) yang termasuk proyek-proyek pada sistem kolom CFT. Beberapa keuntungan dari sistem kolom CFT telah dijelaskan oleh (Morino dkk, 2003) sebagai:

- a. Tekuk setempat tabung baja tertunda dan degradasi kekuatan karena efek menahan dari beton.
- b. Beton dapat mengembangkan kuat tekan yang lebih tinggi karena dapat dibatasi efek dari tabung baja.

- c. Degradasi kekuatan beton tidak begitu parah akibat *spalling* dicegah oleh tabung baja.
- d. Creep dan pengeringan penyusutan pengisi beton lebih kecil dari beton ekspos konvensional.
- e. Beton meningkatkan ketahanan api dari tabung baja.
- f. Tidak ada bekisting beton atau tulangan yang diperlukan. Oleh karena itu tenaga kerja, waktu konstruksi, dan biaya berkurang.
- g. Situs konstruksi lebih bersih dan menghasilkan limbah yang sedikit.
- h. Beton di CFT dapat dengan mudah hancur dan terpisah dari tabung baja. Oleh karena itu kedua bahan dapat didaur ulang sepenuhnya.

Sebuah kekakuan aksial awal dari anggota CFT dapat didekati dari jumlah kekakuan dari dua bahan. Namun, jika penyusutan longitudinal diferensial beton terjadi, maka kekakuan akan cenderung menjadi lebih dekat dengan tabung baja saja.

Efek dari tabung baja menyediakan kurungan dapat meningkatkan kekuatan lentur dari anggota CFT. Oleh karena itu kekuatan lentur komposit lebih besar dari kekuatan gabungan dari bahan individu digabungkan. Sebuah kolom CFT melingkar juga keuntungan manfaat dari kurungan ke tingkat yang lebih besar dan memiliki daktilitas lebih baik dari pada kolom bentuk persegi panjang (Anderson dkk, 2011).

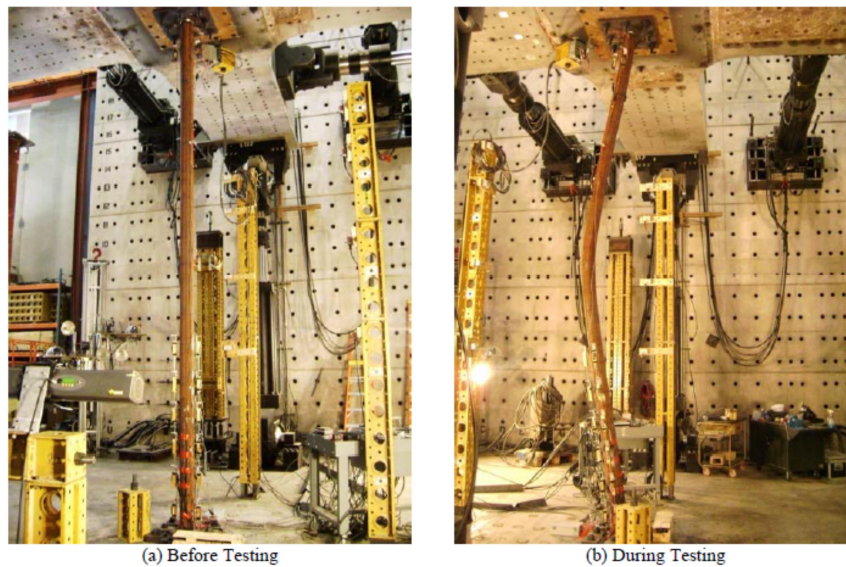
Kawaguchi et al. (2002) melakukan studi eksperimental pada rangka portal mengalami beban aksial konstan dan beban lateral siklik. Rangka terdiri dari balok baja ke dalam kolom CFT persegi dengan tipe sambungan diafragma. Spesimen dirancang sedemikian rupa sehingga lentur terjadi pertama di kolom dan balok tetap di kisaran elastis. Berbeda lebar-ke-rasio ketebalan ($D / t = 21, 39, 54$) digunakan bersama dengan berbagai tingkat beban aksial (15%, 30%, dan 50% dari kekuatan aksial nominal). Beberapa perilaku jepit terlihat pada permodelan yang dominan lebih konkret, bagaimanapun, kinerja sebagian besar permodelan adalah baik dan setelah diamati menghasilkan putaran hysteresis stabil. (Kawagushi dalam Denny 2012)

Kolaborasi proyek (Perea dkk, 2012) melakukan serangkaian tes pada tabung baja langsing skala penuh beton balok-kolom di Nees MAST Laboratory di University of Minnesota. Model tersebut dipilih untuk mengisi kekurangan dalam penelitian eksperimental sebelumnya, terutama untuk memiliki kelangsingan anggota tinggi dan bagian kelangsingan tinggi (D / t rasio). Parameter dalam penelitian eksperimental meliputi: bagian bentuk dan ukuran, panjang anggota, dan kekuatan beton. Tabel 2.1

menunjukkan matriks tes dengan mengukur sifat geometris dan material. Percobaan 1-C5-18-5 ditampilkan sebelum pengujian dan selama pengujian pada Gambar 2.2.

Tabel 2.1 Tes matriks balok – kolom

Specimen	D or H (mm)	B (mm)	t (mm)	F' _c (MPa)	F _y (MPa)	L (mm)
1-C5-18-5	141	-	3.1	37.9	383	5.499
2-C12-18-5	324	-	5.92	38.6	337	5.525
3-C20-18-5	508	-	5.92	40.0	328	5.537
4-RW-18-5	508	305	7.39	40.7	365	5.537
5-RS-18-5	508	305	7.39	40.7	365	5.499
6- C12-18-12	324	-	5.92	91.0	337	5.534
7-C20-18-12	508	-	5.92	91.0	328	5.553
8-RW-18-12	508	305	7.39	91.7	365	5.553
9-RS-18-12	508	305	7.39	91.7	365	7.950
10-C12-26-5	324	-	5.92	54.5	335	7.995
11-C20-26-5	508	-	5.92	55.8	305	7.957
12-RW-26-5	508	305	7.39	56.5	406	7.969
13-RS-26-5	508	305	7.39	57.2	383	7.963
14-C12-26-12	324	-	5.92	80	383	7.963
15-C20-26-12	508	-	5.92	80	293	7.976
16-RW-26-12	508	305	7.39	80.7	381	7.957
17-RS-26-12	508	305	7.39	80.7	380	7.963
18-C5-26-12	141	-	3.15	80.7	383	7.941



Gambar 2.2 Model 1-C5-18-5

Dalam penyelidikan 10 pola, diberikan beban aksial konstan dan perpindahan horisontal meningkat dengan rasio tetap X ke Y perpindahan sampai kekuatan lentur kritis dicapai, di mana titik perpindahan horisontal terbalik. Kasus beban tambahan dilakukan pada permodelan. Ini termasuk siklus torsional pemuatan di berbagai tingkat kompresi aksial, aksial konsentris, siklus lentur uniaksial, dan siklus biaksial lentur pemuatan dalam konfigurasi memiliki basis tetap dan dengan bagian atas tetap terhadap rotasi tetapi bebas untuk menerjemahkan (dengan demikian $K = 1$ dengan CFT dikenakan untuk membalikkan kelengkungan lentur).

Tabung diinstrumentasi selama penempatan beton untuk mempelajari efek dari beton basah pada anggota CFT. Tekanan hidrostatik beton basah menyebabkan tabung anggota RCFT tonjolan meninggalkan deformasi awal dan tekanan. Hal ini terbukti dapat menyebabkan tekuk setempat dini tabung baja dibandingkan dengan tabung yang kaku selama menuangkan. Studi analitis lebih lanjut dilakukan untuk menurunkan stres dan deformasi batas, di atas permodelan 11 yang pengaku harus digunakan selama menuangkan atau langkah-langkah khusus harus diambil selama desain (Perea dkk, 2012).

2.1.1 Design kolom CFT

Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan beton dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya kolom beton biasa.

Persyaratan bagi suatu kolom komposit ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.3.1. batasan-batasan berikut harus dipenuhi oleh suatu kolom komposit:

1. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang komposit total;
2. Selubung beton untuk penampang komposit yang berintikan baja harus diberi tulangan baja longitudinal dan tulangan pengekan lateral. Tulangan baja longitudinal harus menerus pada lantai struktur portal, kecuali untuk tulangan longitudinal yang hanya berfungsi memberi kekangan pada beton. Jarak antar pengikat lateral tidak boleh melebihi $2/3$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari $0,18 \text{ mm}^2$ untuk setiap mm jarak antar tulangan transversal (atau longitudinal) terpasang. Tebal bersih selimut beton dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal minimal sebesar 40 mm;
3. Mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 MPa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan;
4. Tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa;
5. Tebal minimum dinding pipa baja atau penampang baja berongga yang diisi

beton adalah $b \sqrt{f_y/3E}$ untuk setiap sisi selebar b pada penampang persegi dan

$D \sqrt{f_y/8E}$ untuk penampang bulat yang mempunyai diameter luar D .

Tata cara perhitungan kuat rencana kolom komposit diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.3.2 bahwa kuat rencana kolom komposit :

$$N_n = A_s f_{cr} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan,

$$\lambda_c \leq 0.25 \text{ maka } \omega = 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$0.25 < \lambda_c < 1.2 \text{ maka } \omega = \frac{1.43}{1.6-0.67 \lambda_c} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\lambda_c \geq 1.2 \text{ maka } \omega = 1.25 \lambda_c \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 f' c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$E_m = E + c_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$E_c = 0.041 w^{1.5} \sqrt{f' c} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana,

A_c : luas penampang beton, mm²

A_r : luas penampang tulangan longitudinal, mm²

A_s : luas penampang profil baja, mm².

E : Modulus Elastisitas baja, Mpa

E_c : Modulus elastisitas beton, Mpa

E_m : Modulus elastisitas kolom komposit, Mpa

f_{cr} : tegangan tekan kritis, Mpa

f_{ym} : tegangan leleh kolom komposit, MPa

f_y : tegangan leleh profil baja, MPa

f'_c : kuat tekan karakteristik beton, Mpa

k_c : faktor panjang efektif kolom

L : panjang komponen struktur, mm

r_m : jari-jari girasi kolom komposit

w : berat jenis beton, kg/m³

λ_c : parameter kelangsingan

ϕ_c : faktor reduksi beban aksial tekan

ω : faktor tekuk

Pada persamaan di atas, c_1 , c_2 , dan c_3 adalah koefisien yang besarnya:

Untuk pipa baja yang diisi beton:

$$c_1=1,0, c_2 = 0,85, \text{ dan } c_3 = 0,4$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton:

$$c_1 = 0,7, c_2 = 0,6, \text{ dan } c_3 = 0,2.$$

Jari-jari girasi kolom komposit diambil lebih besar dari profil baja dan profil beton. Pendekatan yang konservatif adalah sebesar 0,3 kali dimensi bidang tekuk.

$$r_m = r > 0,3 \cdot b \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana,

r : jari-jari girasi profil baja dalam bidang tekuk

b : dimensi terluar kolom beton dalam bidang tekuk.

Bagian dari kuat rencana kolom komposit pemikul beban aksial yang diterima beton harus disalurkan melalui tumpuan langsung pada sambungan. Bila luas beton penumpu lebih besar daripada luas daerah pembebanan pada satu atau beberapa sisi, sedangkan pada sisi-sisi lainnya pergerakannya terhadap pengembangan lateral dibatasi, maka kuat rencana maksimum beton penumpu harus diambil sebesar, $1,7 \cdot \phi_c \cdot f_c' \cdot A_b$, dengan $\phi_c = 0,60$ dan A_b adalah luas daerah pembebanan.

Berbagai hubungan telah disarankan. Formula desain untuk anggota CFT di dalam SRC Standar AIJ edisi 2001. Deskripsi umum adalah sebagai berikut (Morino, dkk):

1. Metode desain yang digunakan dalam standar ini pada dasarnya adalah desain tegangan yang diijinkan didukung oleh analisis elastis struktur. Dalam desain tahan gempa, itu harus dibuktikan bahwa kapasitas beban ultimate lateral yang utama lebih besar dari tegangan ijin bangunan dari nilai yang dibutuhkan untuk menahan gempa bumi yang parah. Beban desain dan tekanan yang diijinkan bahan ditentukan oleh Building Standard Law dan AIJ standar.
2. Tegangan luluh ditentukan dari tabung baja berkisar dari 235 MPa (215 jika ketebalan plat $t > 40\text{mm}$) untuk 355MPa (335 jika $t > 40\text{mm}$) sesuai dengan beberapa jenis baja yang mengandung kekuatan tinggi SM520 baja dan sentrifugal kekuatan tinggi baja cor tabung SCW520CF.
3. Nilai batas rasio lebar ke ketebalan untuk tabung persegi panjang dan rasio diameter ke ketebalan untuk tabung melingkar adalah sebagai berikut (lihat Gambar 2.3):

$$\frac{B}{t} \leq 1.5 \cdot \frac{735}{\sqrt{F}} \text{ (rectangular) } \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\frac{D}{t} \leq 1.5 \cdot \frac{23500}{F} \text{ (circular) } \dots\dots\dots (2.13)$$

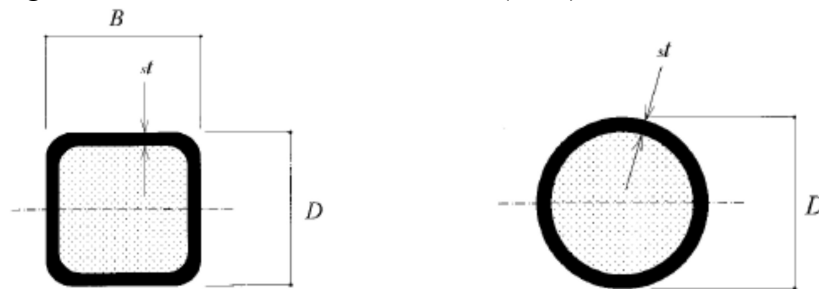
Dimana,

B = lebar flange dari tabung baja persegi

D = diameter dari tabung baja lingkaran

t = tebal dinding tabung baja

F = kekuatan standar untuk menentukan tekanan yang diijinkan baja = lebih kecil dari tegangan leleh dan 0,7 kali kekuatan tarik (MPa)



Gambar 2.3 *Cross section*

4. Ikatan tegangan ijin jangka panjang antara beton pengisi dan bagian dalam tabung baja 0.15MPa untuk tabung melingkar dan 0.1MPa untuk tabung persegi panjang. Tegangan tidak tergantung pada kekuatan beton. Nilai untuk kondisi tegangan jangka pendek 1,5 kali untuk kondisi jangka panjang.
5. Tegangan tekan yang diijinkan beton cfc sama dengan $F_c / 3$ untuk kondisi stres jangka panjang, dan $2F_c / 3$ untuk jangka pendek-satu, di mana F_c adalah standar desain kuat tekan beton.
6. l_k panjang efektif maksimum CFT terbatas pada :

$$l_k/D \leq 50 \text{ untuk } \textit{compression member} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$l_k/D \leq 50 \text{ untuk balok-kolom } \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana,

l_k = panjang tekuk efektif

D = Kedalaman minimal panjang

2.1.2 Kekuatan Geser dari Kolom

Kekuatan desain geser untuk panel kolom web $V_{c,w}$ * dapat dihitung dengan

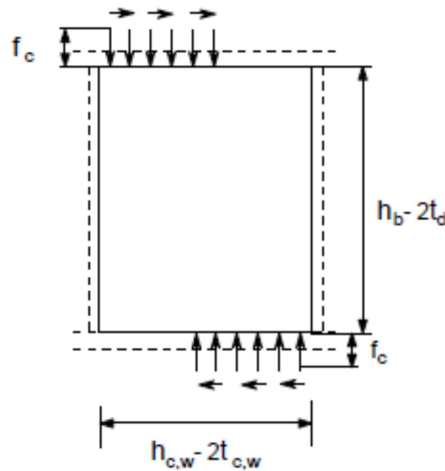
$$V_{c,w} = 1.2 \left(A_{c,p} \cdot \beta \frac{f_c}{10} + A_{c,w} \frac{f_{c,y}}{\sqrt{3}} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\beta = 2 \frac{h_{c,w} - 2 t_{c,w}}{h_b - 2 t_d} \leq 4.0 \text{ Untuk Circular } \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\beta = 2.5 \frac{h_{c,w} - 2 t_{c,w}}{h_b - 2 t_d} \leq 4.0 \text{ Untuk Rectangular } \dots \dots \dots (2.18)$$

Dalam persamaan di atas $A_{c,p}$ dan f_c menunjukkan luas penampang panel beton dan kekuatan silinder beton, sementara β adalah fungsi dari kedalaman rasio ketinggian panel beton.

Rumus di atas berasal dari kekuatan *yield* dari panel dikalikan dengan faktor 1,2 untuk mengubahnya menjadi kekuatan keadaan rencana batas ultimate. Kekuatan leleh dievaluasi hanya sebagai jumlah dari kekuatan leleh beton dan baja bagian, di mana bagian beton membawa beban geser sebagai *strut* kompresi diagonal, yang kekuatannya diasumsikan diatur hanya oleh kekuatan tekan beton.



Gambar 2.4 *Stresses in concrete panel*

2.2 Sambungan Kolom-Balok

Beberapa metode telah digunakan untuk menghubungkan balok ke kolom pada *frame* (misalnya Alostaz, 1996). Detail sambungan CFT memiliki tingkat kesulitan yang berbeda, fabrikasi dan sifat kekakuan. Secara umum, pengelasan balok langsung

ke kulit tabung cukup fleksibel, sementara pengaku melewati balok dan melalui kolom CFT cukup kaku. Pengisian beton biasanya meningkatkan kekuatan zona panel bersama dibandingkan dengan kolom baja saja. Hal ini memungkinkan CFT harus dirancang untuk tetap elastis selama guncangan seismik yang ekstrim. Hal ini juga memungkinkan untuk menemukan lokasi aksi non-linear balok jauh dari sendi (Anderson dkk, 2011).

2.2.1 Sambungan Las

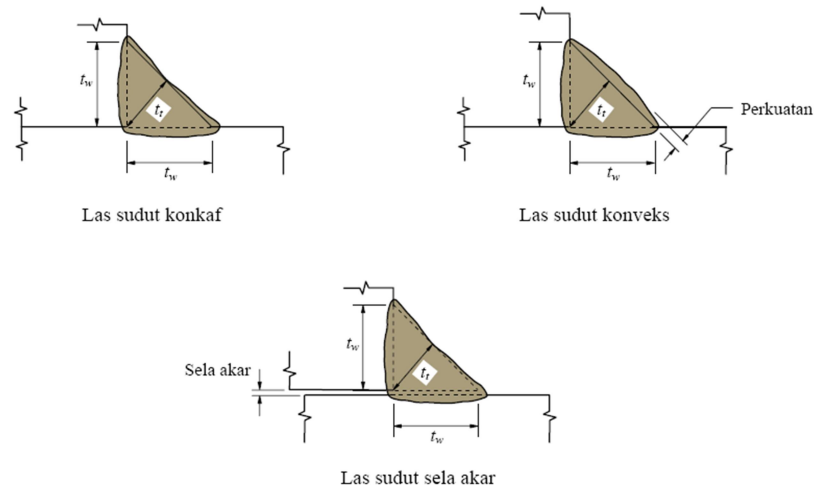
Jenis las yang sering dijumpai antara lain las tumpul, las sudut, las baji dan pasak. Dalam penelitian ini, jenis las akan digunakan adalah las sudut.

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang t_{w1} dan t_{w2} , dari sisi yang terletak di sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (Gambar 2.5). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w , bila terdapat sela akar, ukuran t_w diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar.

Ukuran minimum las sudut selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, ditetapkan sesuai Tabel 2.2 kecuali bila ukuran las tidak boleh melebihi tebal bagian yang tertipis dalam sambungan.

Tabel 2.2 Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, t_w (mm)
$t \leq 7$	3
$7 \leq t \leq 10$	4
$10 \leq t \leq 15$	5
$t > 15$	6



Gambar 2.5 Ukuran las sudut

Ukuran maksimum las sepanjang tepi komponen yang disambung adalah :

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6.4 mm, diambil setebal komponen
- Untuk komponen dengan tebal 6.4 mm atau lebih, diambil 1.6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las tertentu.

Tebal rencana las, t_t , suatu las sudah ditunjukkan Gambar 2.5.

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh. Panjang efektif las sudut paling tidak harus 4 kali ukuran las; jika kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0.25 dikali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan plat yang bertumpuk (lap). Tiap segmen las sudut yang tidak menerus (selang- seling) harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm dan 4 kali ukuran normal las.

Las sudut memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u , harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_{nw} \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan,

$$\phi_f R_{nw} = 0.75 t_t (0.6 f_{uw}) \text{ (las)} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\phi_f R_{nw} = 0.75 t_t (0.6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

$\phi_f = 0.75$: adalah faktor tahanan untuk fraktur

f_{uw} : adalah kuat tarik logam las (MPa)

f_u : adalah kuat tarik logam dasar (MPa)

t_t : adalah tebal rencana las (mm)

2.2.2 Sambungan Baut

Jarak tepi maksimum : $12 \times t_p$ atau 150 mm

Jarak minimum antar baut : $3 \times d_b$ (2.22)

Jarak maksimum antar baut : $14 \times t_p$ atau 180 mm.....(2.23)

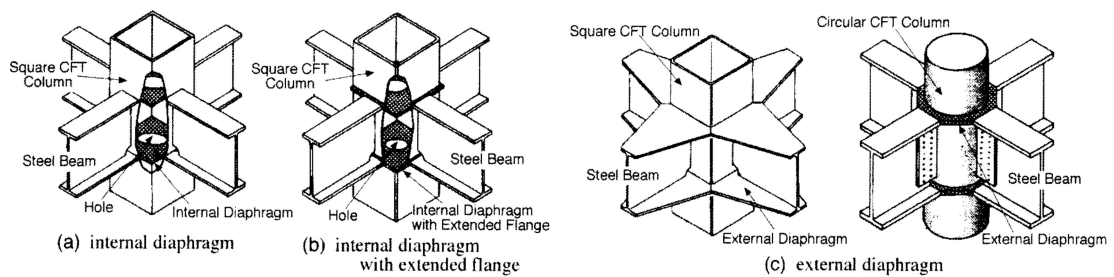
Tabel 2.3 Jarak tepi minimum

Diameter baut (mm)	Jarak Tepi Minimum (mm)
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
>36	1.25d

2.2.3 Sambungan konvensional

Di Jepang ada tiga sambungan balok ke kolom konvensional untuk sistem MRF kolom CFT. Dari gambar 2.6, sambungan konvensional masing-masing menggunakan diafragma polos internal, diafragma internal dengan flange diperpanjang, dan diafragma eksternal. Diafragma internal terutama digunakan untuk kolom dengan pengelasan dan gedung tinggi. Meskipun sambungan ini memiliki kebaikan dengan tidak mengganggu bahan finishing yang terpasang di luar kolom, banyak perawatan yang dibutuhkan dalam pengisian beton ke dalam tabung untuk mencegah terjadinya rongga di bawah diafragma intern. Sambungan dengan diafragma internal dengan flange diperpanjang seperti yang tergambar pada gambar 2.6 (b) dapat digunakan untuk bangunan sederhana

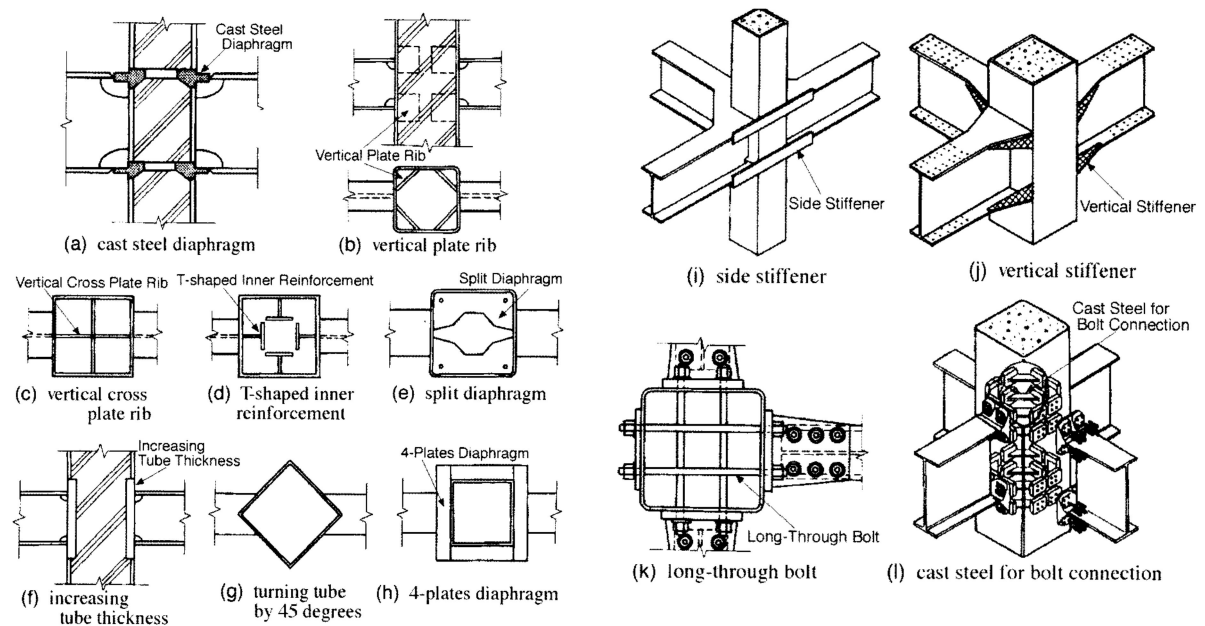
atau gedung yang tidak terlalu tinggi (sedang). Sambungan ini hampir sama dengan dengan sambungan diafragma polos internal dalam hal pengisian beton dan finishing material. Bagaimanapun juga dalam proses pekerjaan dan pengelasannya sangat kompleks karena pabrikasi membutuhkan memotong tabung baja sehingga diafragma dapat dipasang dan dilas pada tabung baja. Sedangkan pada diafragma eksternal yang terlihat pada gambar 2.6 (c) diafragma terletak di luar kolom dan di las pada sisi luar kolom baja sehingga proses pengisian beton lebih mudah namun dapat mengganggu sisi luar kolom (Fukumoto, 2005).



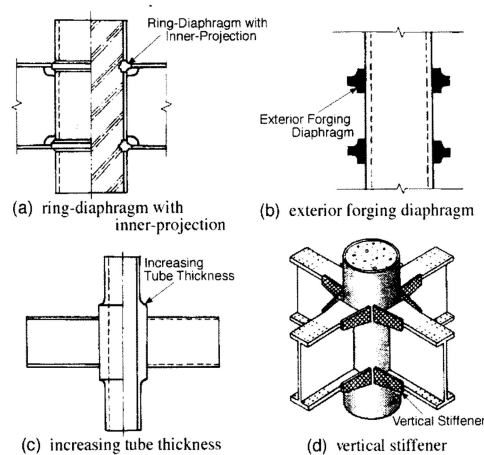
Gambar 2.6 Sambungan konvensional antara balok baja dengan kolom CFT
(Fukumoto, 2005).

2.2.4 Perkembangan Sambungan

Inovasi sambungan balok baja ke kolom CFT dikembangkan untuk mengatasi beberapa masalah diatas dan dapat meningkatkan produktivitas pabrikasi, ereksi dan pengisian beton. Pengembangan balok baja ke kolom persegi CFT dan balok baja ke kolom melingkar CFT dapat terlihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Inovasi sambungan antara balok baja dengan kolom CFT(Fukumoto, 2005).

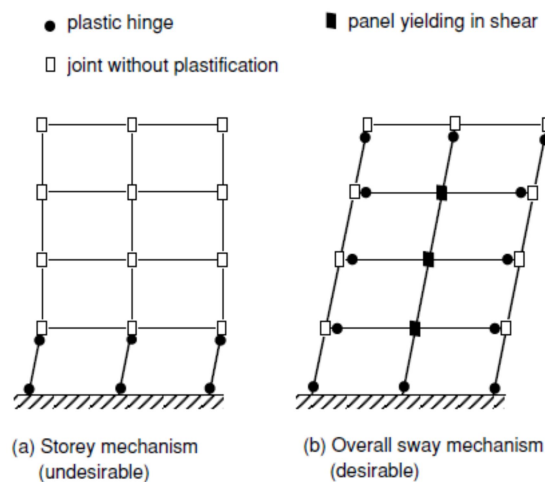


Gambar 2.8 Sambungan dengan pengaku T antara balok baja dengan kolom CFT (Fukumoto, 2005).

Kehadiran pengaku di perimeter kolom luar dapat menyederhanakan fabrikasi, dan mengurangi konsentrasi tegangan. Oleh karena itu, kapasitas momen akhir dari hubungan bagian melalui kolom persegi dan melingkar meningkat pesat. Mengisi bagian penampang kolom beton dengan meningkatkan momen akhir di sambungan hingga 33% dan 39% untuk unstiffened dan kaku kolom. Pengisian beton pada kolom dapat menunda tekuk setempat dari kolom dinding baja (Dessouki, 2013).

2.3 Strong Coloumn Weak Beam

Pembentukan Hinge di kolom, sebagai lawan balok, tidak diinginkan, karena hal ini dapat mengakibatkan pembentukan mekanisme bertingkat (lihat gambar 2.9), di mana kerusakan berkonsentrasi pada beberapa lantai, dan relatif sedikit elemen berpartisipasi dalam disipasi energi. Selain itu, mekanisme tersebut dapat mengakibatkan kerusakan lokal untuk kolom yang merupakan elemen beban gravitasi kritis (Kurobane, 2004).



Gambar 2.9 Perbandingan mekanisme kolaps antara “*undesirable* dan *desirable*”
(Kurobane, 2004).

Panduan desain Jepang untuk *cold formed coloumn* (BCJ 1996) merekomendasikan bahwa jumlah kapasitas momen plastis dari kolom harus 1,5 kali lebih besar daripada jumlah kapasitas momen plastis balok, baik yang dihitung dengan menggunakan kekuatan leleh nominal, pada setiap sambungan. Rasio 1.5 adalah hasil dari penilaian rekayasa berdasarkan pemeriksaan dari faktor-faktor berikut mempengaruhi kondisi *strong coloumn weak beam* dan ditemukan menjadi sekitar sama dengan rasio yang diberikan oleh Desain Kriteria FEMA. Interim Guidelines oleh SAC (1999) serta Desain Kriteria FEMA (2000) merekomendasikan formula yang lebih rinci untuk memastikan kondisi *strong coloumn weak beam*. Rumus mencerminkan peningkatan kemungkinan kekuatan leleh material balok dan lokasi dari sendi plastis diperkuat di sambungan *strong coloumn weak beam*. (Korubane, 2004).

1. Ketika beban seismik horisontal bertindak secara diagonal ke sumbu utama bangunan, balok dalam dua arah berpartisipasi dalam membawa momen lentur dalam kolom. Dengan demikian, kolom harus 1,4 kali lebih kuat dari balok.
2. Balok sering dirancang sebagai elemen komposit dengan beton.
3. Variabilitas kekuatan leleh di balok dan kolom bahan memberikan probabilitas tertentu dari kolom yang lebih lemah dari balok.
4. Mode yang lebih tinggi dari getaran selama respon gempa dapat memaksa konsentrasi momen lentur di satu sisi kolom.

2.3.1 Kontrol Momen Plastis

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.6. Perbandingan momen kolom terhadap momen balok. Hubungan berikut ini harus dipenuhi pada sambungan balok-kolom :

$$\frac{\Sigma M_{pc}}{\Sigma M_{pb}} > 1 \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

ΣM_{pc} adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan diatas sambungan pada pertemuan antara as kolom dan as balok. ΣM_{pc} ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal kolom, termasuk voute bila ada, di atas dan di bawah sambungan pda as balok dengan reduksi akibat gaya aksial tekan kolom. Diperkenankan untuk mengambil $\Sigma M_{pc} = \Sigma Z_c (f_{yc} - N_{uc}/A_g)$. Bila as balok-balok yang bertemu di sambngan tidak membentuk satu titik maka titik tengahnya dapat digunakan dalam perhitungan.

ΣM_{pb} adalah jumlah momen-momen balok pada pertemuan as balok dan as kolom. ΣM_{pb} ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal balok di daerah sendi plastis pada as kolom. Diperkenankan untuk mengambil $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$, dengan M_y adalah momen tambahan akibat amplifikasi gaya geser dari lokasi sendi plastis ke as kolom. Sebagai alternatif, diperkenankan untuk menentukan ΣM_{pb} dari hasil pengujian atau dengan analisis rasional berdasarkan pengujian. Bila sambungan dibuat menggunakan penampang balok yang direduksi maka diperkenankan untuk mengambil $\Sigma M_{pb} = (1.1 R_y M_p - M_y)$, dengan Z adalah modulus plastis minimum pada penampang balok yang direduksi

A_g	adalah luas penampang bruto kolom	(mm ²)
f_{yc}	adalah tegangan leleh penampang kolom	(MPa)
N_{uc}	adalah gaya aksial tekan terfaktor pada kolom	(N)
Z_c	adalah modulus plastis penampang kolom	(mm ³)

2.3.2 Kontrol Panel Zone

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3. Daerah panel pada sambungan balok ke kolom (badan kolom sebidang dengan badan kolom)

Kuat geser : gaya geser terfaktor V_u pada daerah panel ditentukan berdasarkan momen lentur balok sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Namun V_u tidak perlu melebihi gaya geser yang ditetapkan berdasarkan $0.8 \sum R_y M_p$ dari balok-balok yang merangka pada sayap kolom disambungan. Kuat geser rencana $\phi_v V_n$ panel ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Bila } N_u \leq 0.75N_y, \phi_v V_n = 0.6 \phi_v f_y d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} x t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \dots\dots\dots (2.25)$$

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.3.2. Tebal daerah panel : ketebalan masing-masing pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, ditetapkan menurut persamaan berikut :

$$t \geq (d_z + w_z) / 90 \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

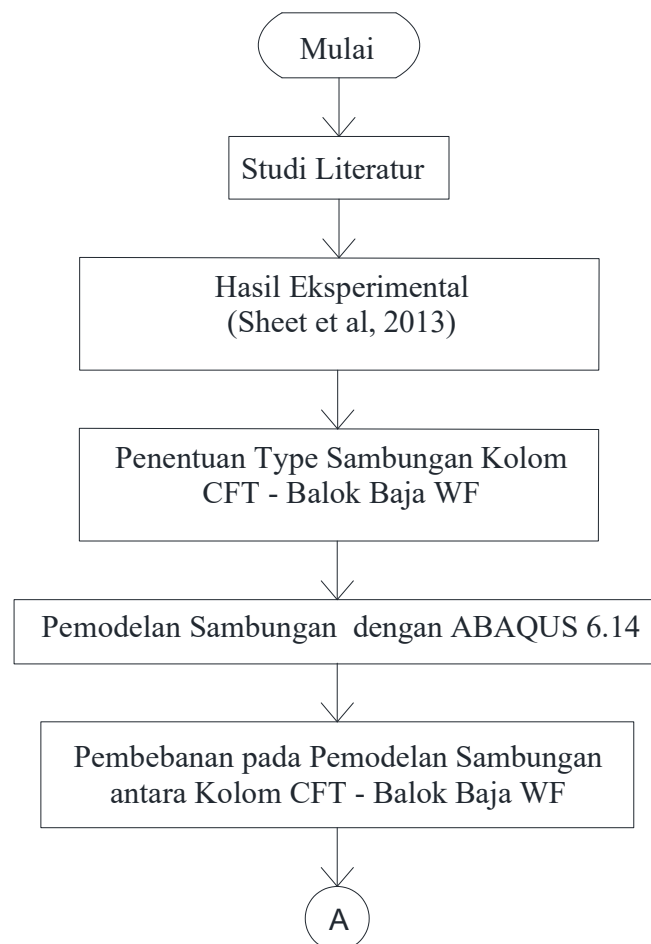
- t adalah tebal pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, mm
- d_z adalah tinggi daerah panel di antara pelat terusan, mm
- w_z adalah lebar daerah panel di antara kedua sayap kolom, mm

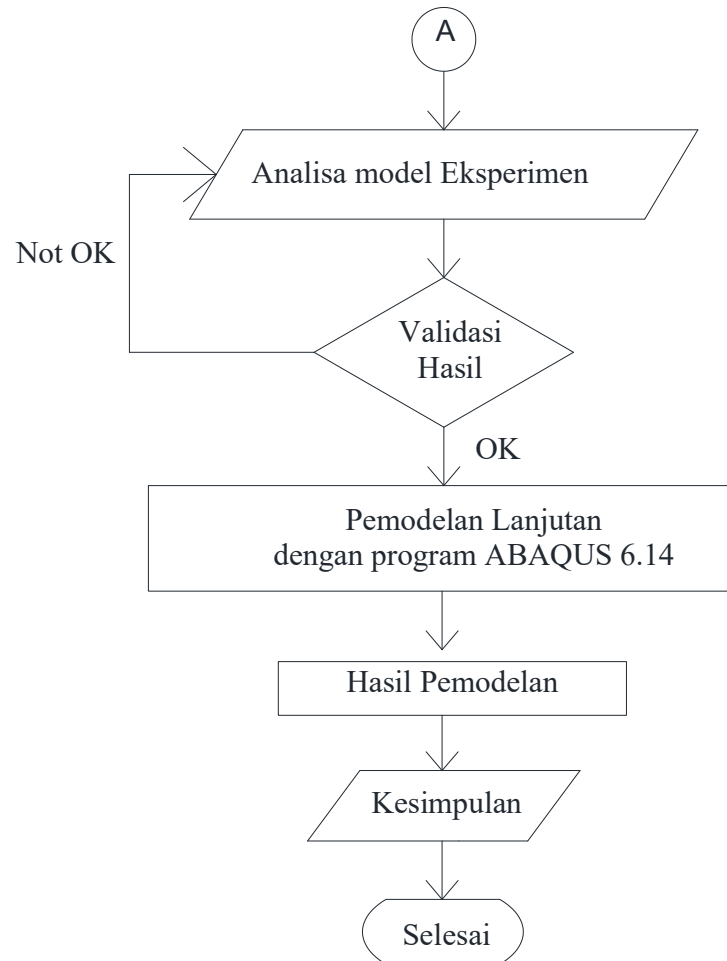
BAB III

METODOLOGI

3.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola kerusakan dari sambungan antara balok baja WF dengan kolom *Rectangular* dan *Circle Concrete Filled Steel Tube*. Penyusunan metodologi ini direncanakan agar penyelesaian setiap permasalahan dalam penelitian ini dapat terselesaikan secara lebih terarah dan tepat pada tujuan rencana, sehingga diharapkan hasil yang didapatkan akan optimal. Secara umum metode penelitian dilakukan dengan cara memodelkan secara 3D benda uji dengan program bantu ABAQUS dan memvalidasi hasil yang analisa yang didapatkan secara experimental. Berikut adalah bagan alir :





Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.2 Studi Literatur

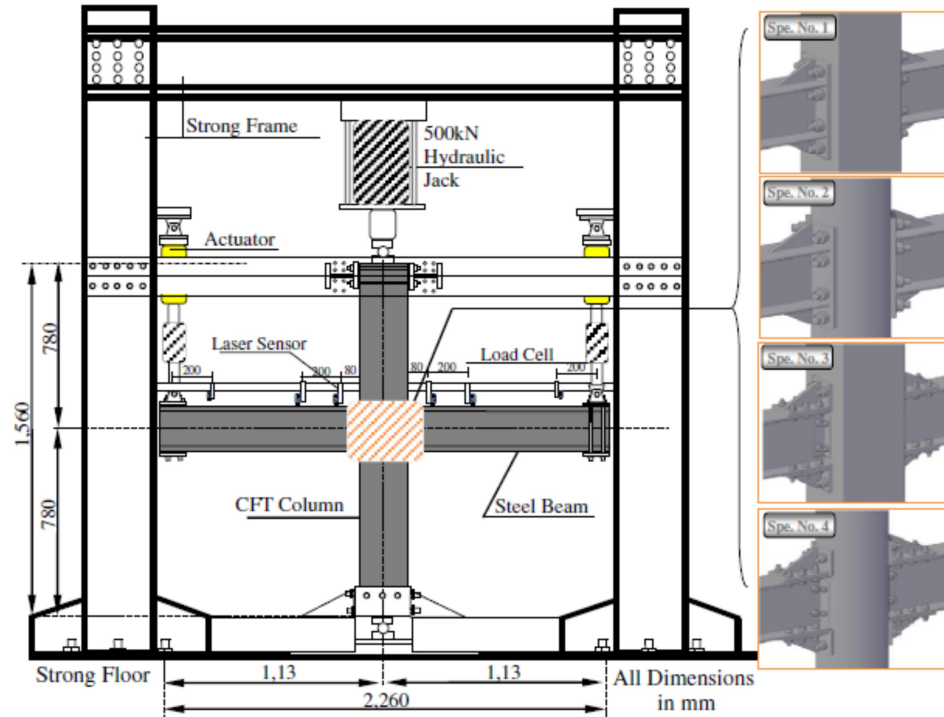
Studi literatur dilakukan dengan membaca, mempelajari dan mengambil beberapa data referensi dan juga kesimpulan dari beberapa sumber seperti jurnal, *proceedings*, dan sumber-sumber lain yang terkait. Sumber referensi sebagian besar diambil dari buku dan jurnal internasional mengenai konfigurasi pengaku sambungan. Penelitian ini akan mengadopsi dari hasil eksperimental Sheet et al (2013).

3.3 Penentuan tipe sambungan antara kolom CFT dengan balok baja

Tipe atau jenis sambungan yang akan digunakan mengacu pada penelitian Sheet et al, di mana menggunakan sambungan baut dan las di luar badan kolom. Ada 2 jenis spesimen yang akan digunakan pada penelitian ini dengan membandingkan bentuk dan dimensi.

3.4 Hasil Eksperimental dari Jurnal (Sheet et al, 2013)

Sheet et al melakukan penelitian eksperimen sebelumnya dengan menggunakan beberapa variasi bentuk pengaku dan mengalami beban aksial dan siklik. Gambar 3.2 adalah test set-up eksperimental yang dilakukan oleh Sheet et al (2013).

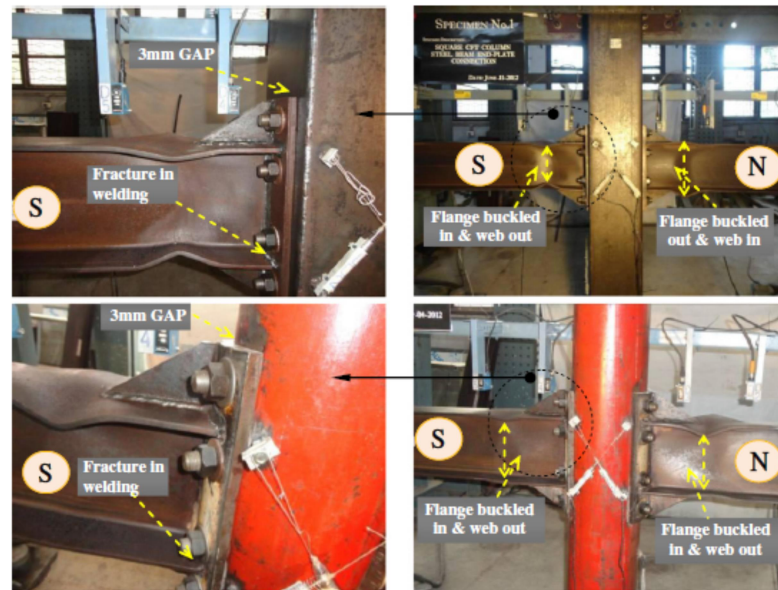


Gambar 3.2 Test set-up yang dilakukan (Sheet et al, 2013)

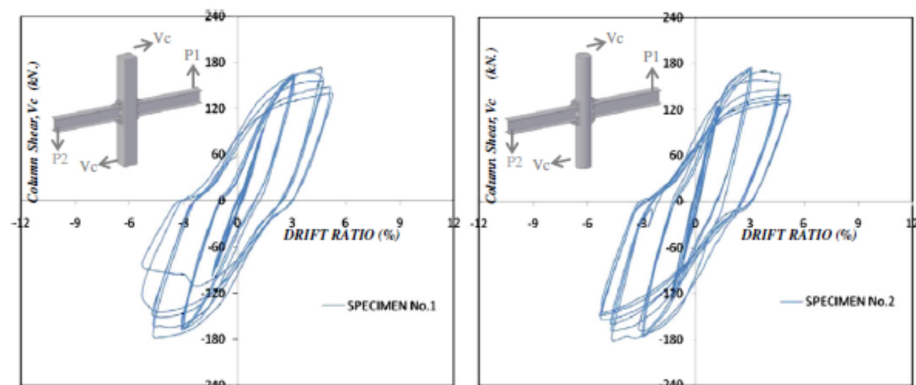
Pada tabel 3.1 terlihat hasil yang diperoleh Sheet et al dalam penelitian eksperimental.

Tabel 3.1 Hasil eksperimental Sheet et al, 2013.

No.	Specimen	Max Shear V_c (kN)	
		+ V_c	- V_c
1	1	172.98	179.13
2	2	175.77	181.57



Gambar 3.3 Hasil eksperimental spesimen 1 dan 2 (Sheet et al, 2013)



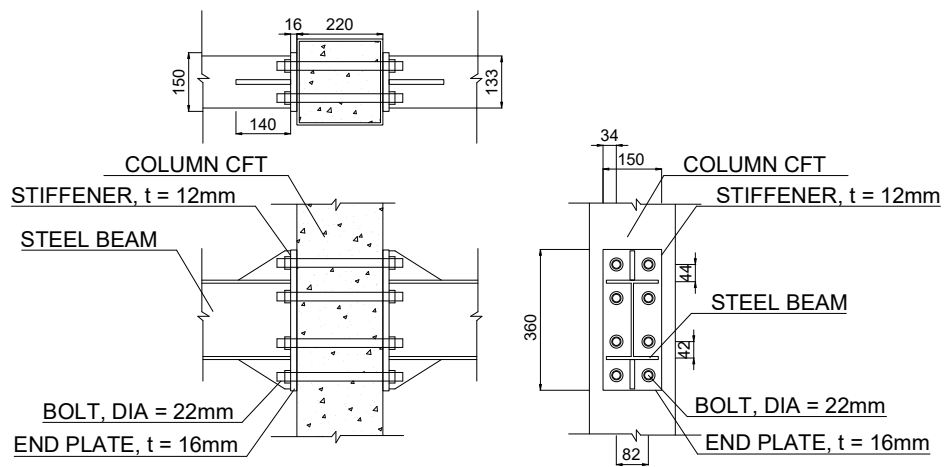
Gambar 3.4 Geser kolom (V_c) vs. drift ratio (%) (Sheet et al, 2013)

Gambar 3.3 sampai dengan gambar 3.4 menunjukkan hasil eksperimental yang telah dilakukan oleh Sheet et al (2013) yang akan menjadi acuan utama pada tesis ini.

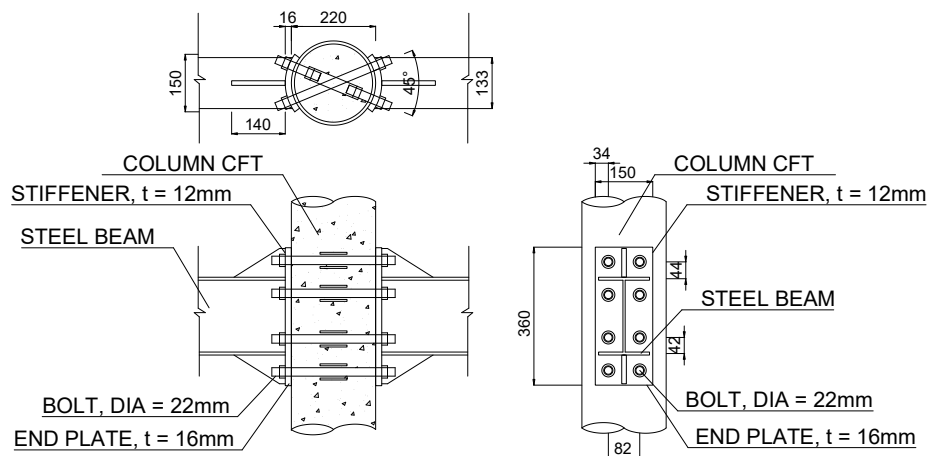
3.5 Pemodelan Sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* dengan Balok baja WF

Pemodelan yang akan dilakukan pada penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan Sheet et al, dkk. Dalam penelitian ini menggunakan dua variasi yang telah dilakukan Sheet et al dan menggunakan metode perhitungan elemen hingga. Pemodelan dilakukan dengan memodelkan variasi pengaku sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* dengan balok baja WF dalam program elemen hingga secara

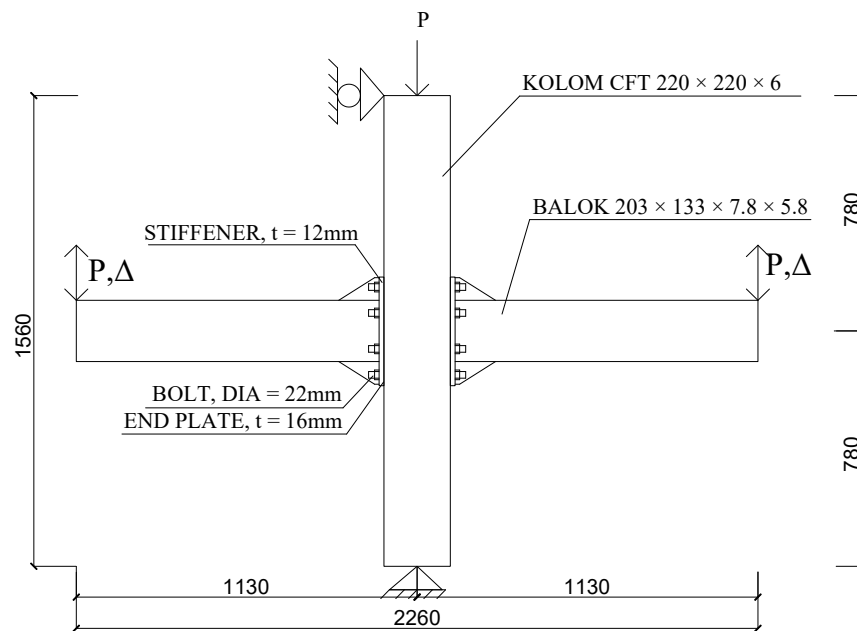
3D solid model. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.5 sampai Gambar 3.7. Peletakan pada pemodelan terletak pada kedua ujung kolom, yaitu sendi dan rol.



Gambar 3.5 *Specimen A1.*



Gambar 3.6 *Specimen A2.*



Gambar 3.7 Skema pemodelan dalam program ABAQUS.

Penelitian ini menggunakan 2 jenis spesimen yang memiliki dimensi dan bentuk kolom yang berbeda. Dimensi benda uji yang digunakan terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Dimensi benda uji

Specimen	Kolom (mm)	Balok (mm)	Sambungan
A1	Rectangular CFT 220 × 220 × 6	203 × 133 × 7.8 × 5.8	Bolt, Dia = 22 Stiffener; t = 12 End plate; t = 16
A2	Circular CFT Ø 220; t = 8	203 × 133 × 7.8 × 5.8	Bolt, Dia = 22 Stiffener; t = 12 End plate; t = 16

Material yang digunakan pada pemodelan ini adalah beton dan baja. Untuk detail material pemodelan dapat terlihat pada tabel 3.3 dibawah ini. Sedangkan untuk berat jenis yang material beton sebesar 2400 kg/m^3 dan untuk material baja sebesar 7850 kg/m^3 .

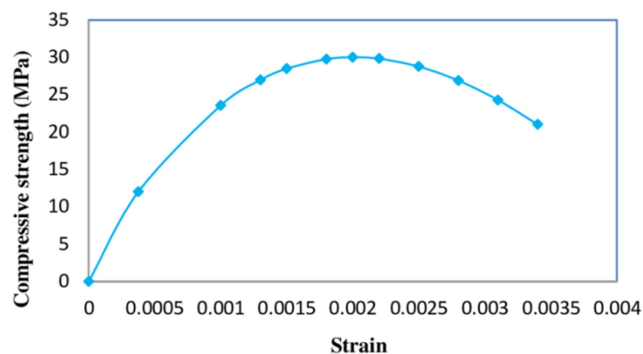
Tabel 3.3 Material Benda Uji Baja

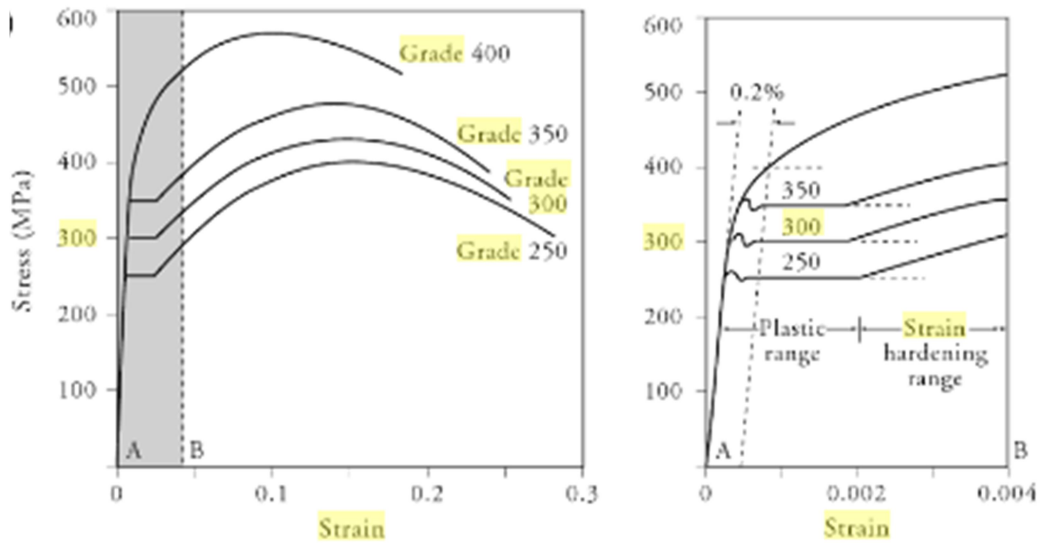
No.	Benda Uji	f_y (Mpa)	f_u (Mpa)
1	Balok $203 \times 133 \times 7.8 \times 5.8$		
	Flange	293.80	451.93
	Web	264.20	393.57
	(Grade 300)		
2	Rectangular $220 \times 220 \times 6$ (Grade 300)	326.27	470.60
3	Circular $\varnothing 220$; $t = 8$ (Grade 250)	285.91	447.95
4	End plate; $t = 16$ (Grade 250)	297.58	431.38
5	Bolt, Dia = 22	406.62	711.46

Dari detail material di atas, nilai modulus elastisitas yang digunakan untuk beton dapat dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.5.1 dengan *poission ratio* 0.2.

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ dengan } w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$$

Sedangkan untuk modulus elastisitas material baja menggunakan sebesar 2.10^5 MPa dengan *poission ratio* 0.3. Kurva tegangan regangan untuk beton dan baja terlihat pada Gambar 3.8 dan 3.9.

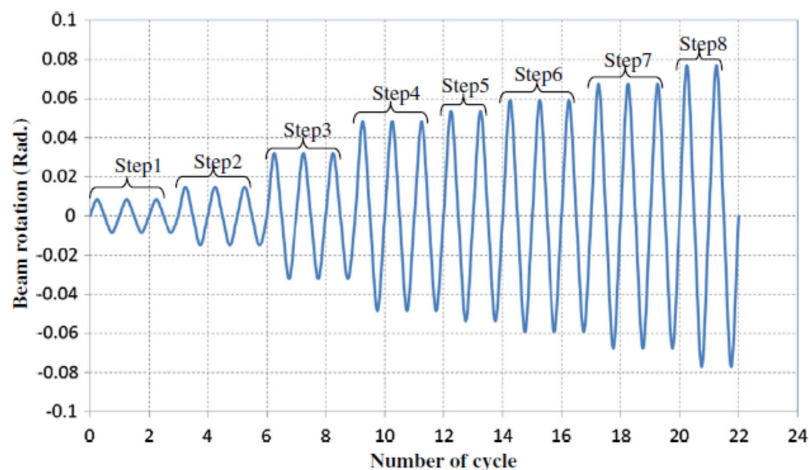
**Gambar 3.8** Kurva tegangan-regangan beton untuk f'_c 30MPa (Tehrani et al, 2014)



Gambar 3.9 Kurva tegangan-regangan baja (*Steel Designers' Handbook 8th Edition*)

3.6 Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan disesuaikan dengan yang telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Sheet et al, dkk. Pemodelan didesain dapat menanggung beban aksial dan beban lateral siklik. prosedur pembebanan siklik akan dilakukan sesuai Gambar 3.10. Untuk pembebanan aksial akan dilakukan secara displacement control pada program Abaqus yang akan diletakan pada ujung kolom. Sedangkan beban siklik akan diterima oleh balok.



Gambar 3.10 Prosedur pembebanan sesuai dengan eksperimental Sheet et al (2013)

3.7 Analisa Pemodelan

Data spesifikasi yang ada akan diolah menggunakan metode pemodelan FEM dengan memakai bantuan *software* ABAQUS dengan hasil verifikasi eksperimental yang dilakukan oleh Sheet et al (2013).

Analisa model 3D dilakukan terhadap beberapa parameter yang didapatkan dari hasil pemodelan sebelumnya, sehingga untuk mendapatkan kondisi pengaku sambungan yang efisien dan efektif dan sesuai dengan peraturan. Maka analisa model 3D yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

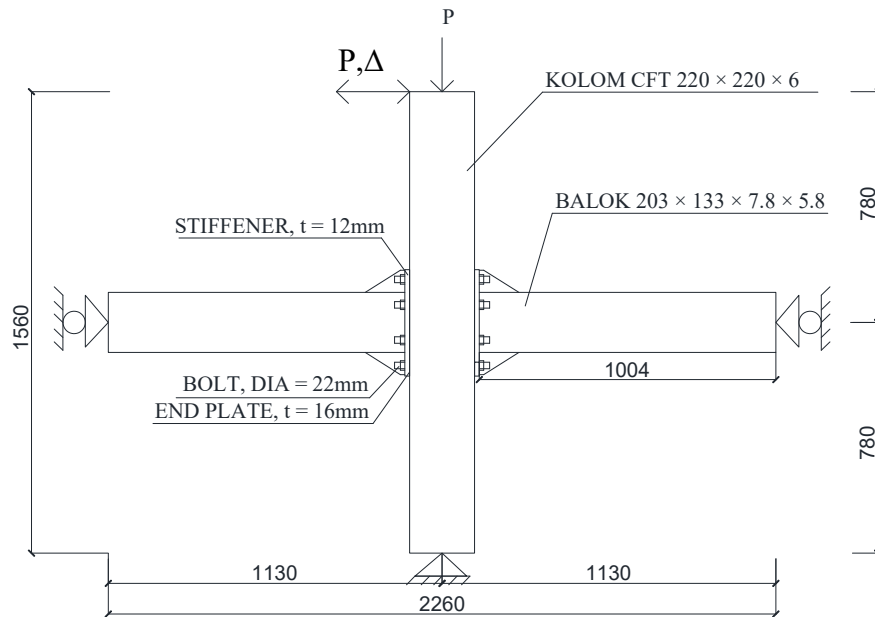
1. Analisa perbandingan beban lateral, displacement dan *drift ratio* sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dan balok baja WF.
2. Analisa kegagalan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* dan balok baja WF efek dari variasi bentuk kolom.

3.8 Validasi Hasil Eksperimental

Setelah dilakukan analisa terhadap hasil pemodelan, setelah itu akan dilakukan validasi antara hasil eksperimental oleh Sheet et al dalam jurnal internasional yang berjudul “**Eksperimental Investigation of CFT Column to Steel Beam Connections Under Cyclic Loading**”

3.9 Pemodelan Lanjutan

Pada tahap selanjutnya adalah pemodelan lanjutan dimana data-data yang digunakan adalah hasil dari eksperimen dan bentuk kolom, balok dan sambungan disesuaikan dengan pemodelan sebelumnya, dengan membedakan letak beban siklik. Beban siklik diletakkan diatas kolom, sehingga beban siklik diasumsikan sebagai beban gempa. Pada Gambar 3.11 terlihat skema pemodelan lanjutan yang akan digunakan pada program bantu abaqus.



Gambar 3.11 Pemodelan lanjutan dalam program ABAQUS

3.10 Hasil Pemodelan Lanjutan

Verifikasi hasil yang dilakukan pada tahap pemodelan lanjut adalah sebagai berikut :

1. Analisa perbandingan gaya dalam, displacement, energi disipasi, dan kekakuan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* (CFT) dengan balok baja WF dalam pemodelan lanjutan
2. Analisa kegagalan sambungan antara kolom *Concrete Filled Steel Tube* dengan balok baja WF efek dari variasi bentuk kolom dalam pemodelan lanjutan.

BAB IV

PEMBAHASAN

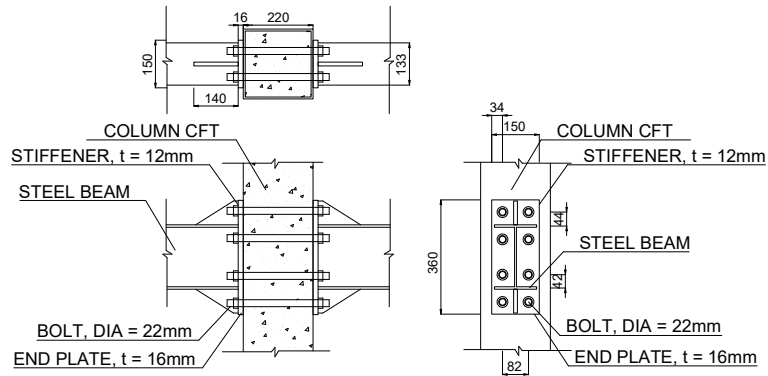
4.1 Data Pemodelan

Pemodelan yang menggunakan Abaqus 6.14 secara 3D dari eksperimental yang telah dilaksanakan oleh Sheet et al (2013). Spesifikasi dan ukuran diambil sesuai detail eksperimen tersebut. Pemodelan ini menggunakan kolom baja yang diisi beton. Kolom yang digunakan berbentuk rectangular dengan mutu baja *grade* 300 untuk pemodelan A1 dan kolom circle dengan mutu baja *grade* 250 untuk pemodelan A2. Untuk beton isian menggunakan f'_c : 30 Mpa. Balok yang digunakan baja UB ukuran 203x133x7.8x5.8 mm dengan mutu baja *grade* 300. Tabel 4.1 modulnjukan variasi spesimen yang digunakan dari pekerjaan eksperimental yang dikerjakan oleh Sheet et al. Pada Gambar 4.1 merupakan dua tipe sambungan yang digunakan pada pemodelan Abaqus.

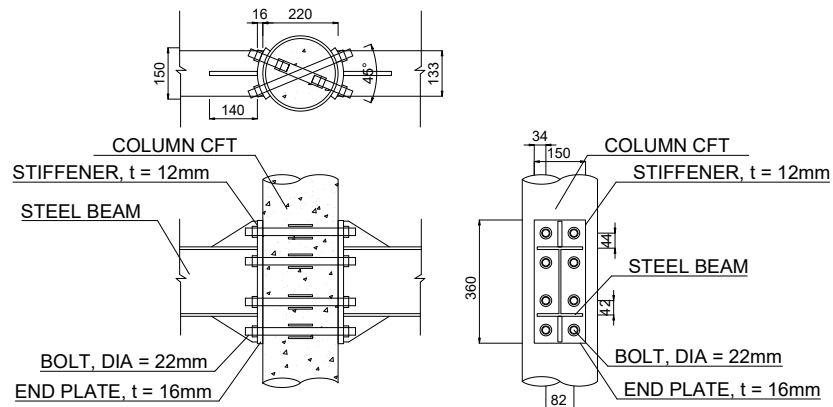
Tabel 4.1 Spesimen Pemodelan Abaqus.

Specimen	Kolom (mm)	Balok (mm)	Sambungan
A1	Rectangular CFT 220 × 220 × 6	203 × 133 × 7.8 × 5.8	Bolt, Dia = 22 Stiffener; t = 12 End plate; t = 16
A2	Circle CFT Dia = 220 t = 6	203 × 133 × 7.8 × 5.8	Bolt, Dia = 22 Stiffener; t = 12 End plate; t = 16

Hasil eksperimen yang dikerjakan oleh Sheet et al (2013) digunakan untuk memverifikasi atau mengkoreksi hasil dari pemodelan yang dilakukan agar hasil pemodelan dapat dikontrol terhadap hasil eksperimen yang sudah ada.



Gambar 4.1 Type sambungan pemodelan A1 pada Abaqus .



Gambar 4.2 Tipe sambungan pemodelan A2 pada Abaqus .

4.2 Metode *Finite Element*

4.2.1 Pemodelan

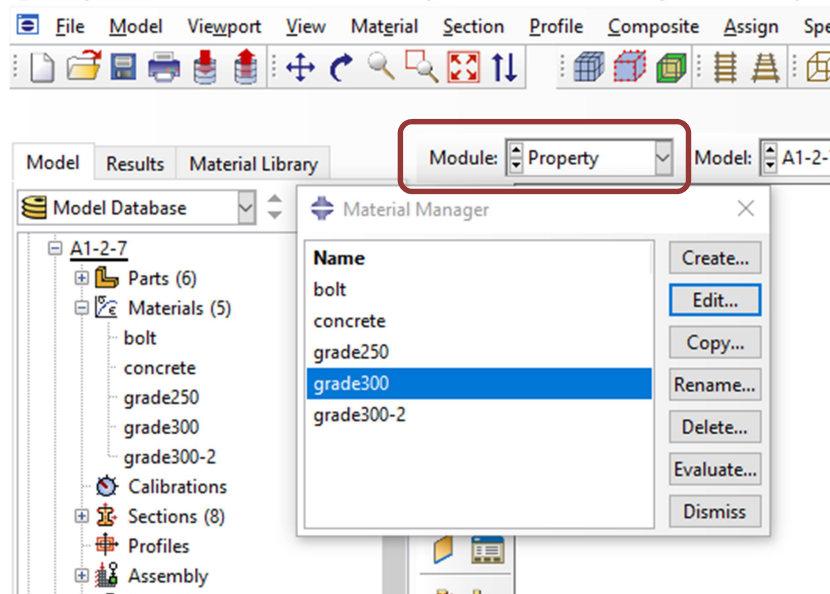
Pemodelan yang dilakukan pada program bantu Abaqus dengan solid 3D. Pemodelan menggunakan variasi kolom yaitu kolom *rectangular* dan *circle*. Variasi kolom dimodelkan pada bagian bagian modul part seperti terlihat pada Gambar 4.3. Begitu juga untuk pemodelan balok, sambungan, endplate dilakukan pada modul part.



Gambar 4.3 Variasi bentuk kolom pada modul *Part*

4.2.2 Material Pemodelan

Pemodelan yang dilakukan selanjutnya diberi *property* agar dapat dianalisa oleh solver Abaqus. Pemodelan terdiri dari beberapa jenis material yang digunakan pada pemodelan sesuai dengan penjelasan subbab 3.5. Pada program Abaqus untuk memasukkan material dapat memilih modul *property* seperti terlihat pada Gambar 4.4.

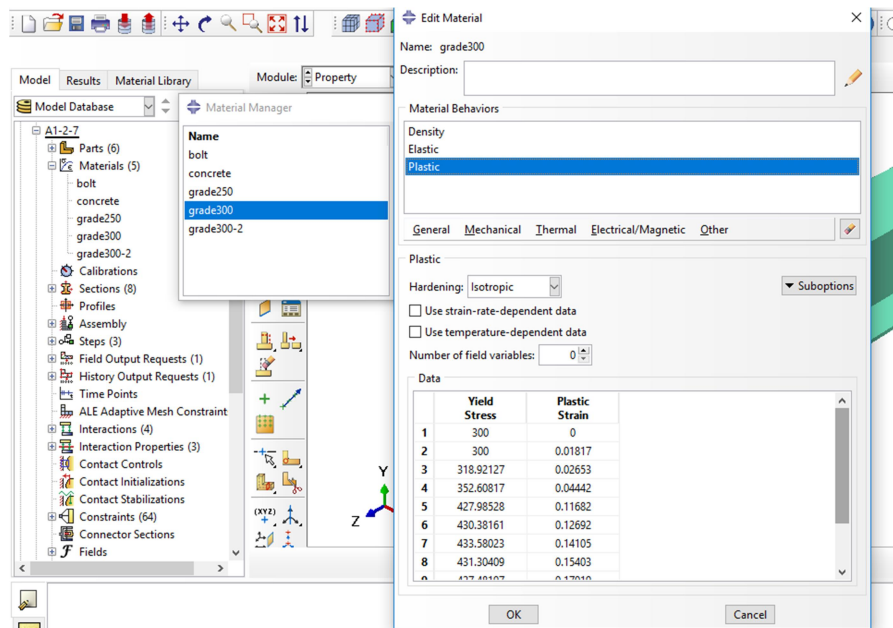


Gambar 4.4 Jenis material pada modul Properties

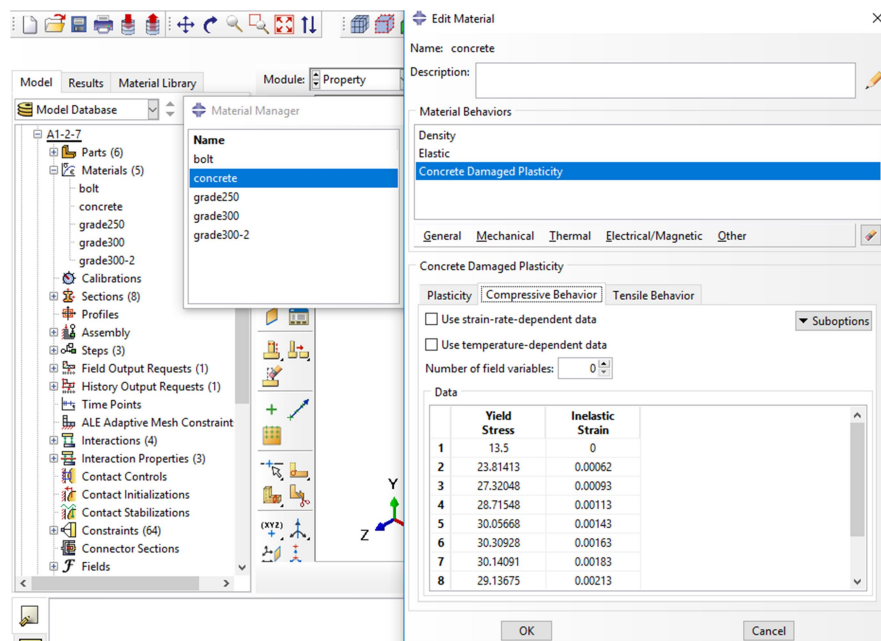
Pemodelan dilakukan dengan memasukkan parameter linear dan parameter nonlinear ke dalam model. Parameter nonlinear ini berupa parameter plastic untuk material baja dan concrete damage plasticity untuk material beton. Beberapa parameter material baja terlihat pada Gambar 4.5. dan untuk parameter beton dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Untuk parameter nonlinear baja menggunakan parameter plastis dimana nilai tegangan yang dimasukkan sebagai yield stress berupa nilai tegangan yang memulai kondisi non linear. Regangan yang dibutuhkan dalam program bantu berupa plastic strain yang diperoleh dari pengurangan regangan dengan nilai regangan yang berada yang berada pada titik pembatas kondisi linier dengan non linier.

Parameter beton dalam compression behaviour dilakukan sama dengan yang dilakukan pada material baja, dimana untuk nilai inelastic strain diperoleh dari pengurangan regangan pada titik pembatas kondisi linier dengan nonlinear. Sedangkan untuk parameter yang lain material beton diambil sesuai dengan nilai default dari parameter concrete damage plasticity (Kmiecik, 2011).



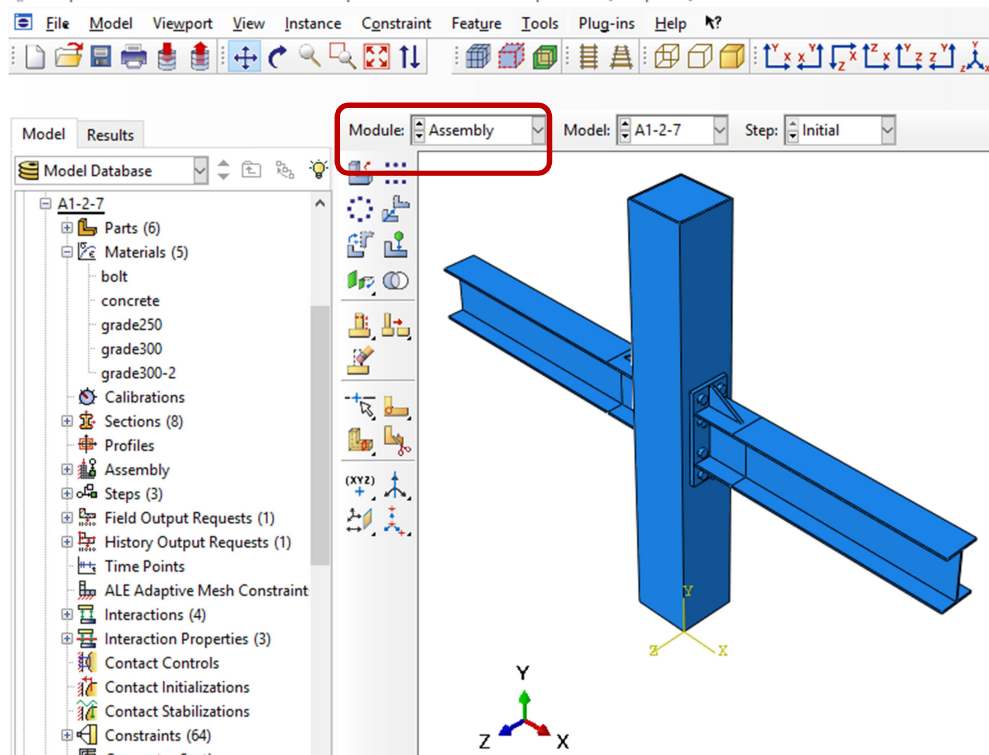
Gambar 4.5 Parameter Material Baja.



Gambar 4.6 Parameter Material Beton.

4.2.3 Modul Assembly

Pada modul ini *part-part* individual yang memiliki sistem koordinatnya masing-masing digabungkan ke dalam suatu koordinat global dan kedudukan *relative* antara satu *part* dengan lainnya diatur sehingga menjadi satu model yang utuh. *Part* yang telah dimasukkan ke dalam modul *assembly* disebut *part instance*. Satu model Abaqus hanya dapat memiliki satu macam *assembly*. Pada Gambar 4.7 merupakan gambar satu model Abaqus yang telah digabungkan dari seluruh *part*.

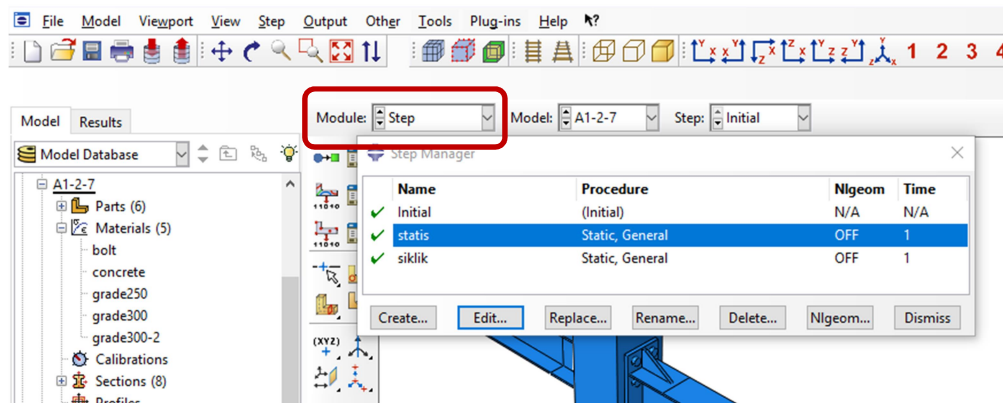


Gambar 4.7 Modul Assembly.

4.2.4 Pembebanan

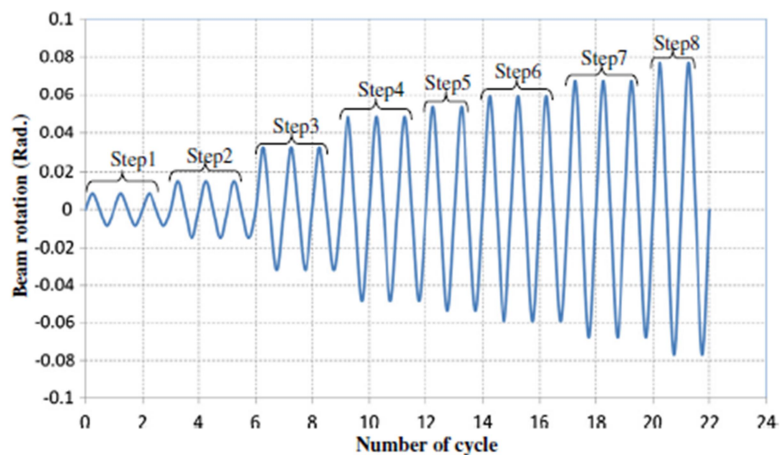
Pembebanan yang terjadi pada pemodelan sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan (lihat Gambar 3.2). Untuk pembebanan menggunakan 2 variasi beban, yaitu beban axial dan beban siklik.

Sebelum memasukkan pembebanan, pemodelan dimasukkan modul step. Pada modul ini analisis step diciptakan dan kemudian dikonfigurasi. Selain itu output request juga dapat dikonfigurasi disini sesuai kebutuhan. Dalam pemodelan ini, solusi yang digunakan dari masalah nonlinear yaitu menggunakan iterasi Newton-Raphson. Gambar 4.8 menunjukkan step yang dilakukan pemodelan.

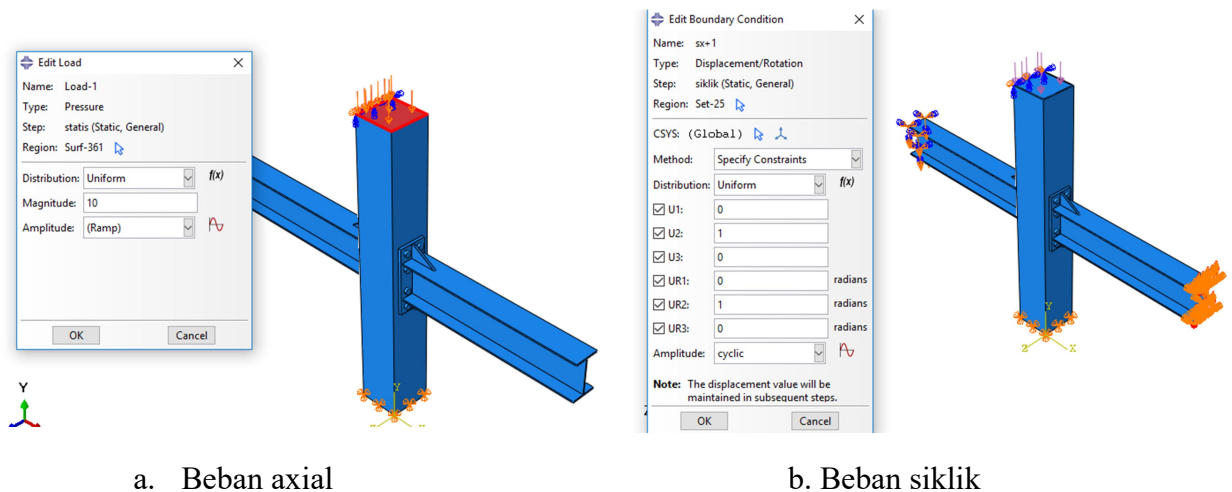


Gambar 4.8 Step Pemodelan.

Setelah modul step, pembebanan dimasukkan sesuai dengan variasi bebannya. Untuk beban axial(P) yang berada di atas muka kolom sebesar 490 kN, sedangkan untuk beban siklik(P, Δ) berada pada kedua ujung balok. Prosedur pembebanan siklik seperti pada Gambar 4.9. Balok bagian kiri mengalami beban siklik arah ke bawah dan beban siklik bagian kanan balok ke arah atas. Pada program abaqus pembebanan axial dimodelkan dengan beban pressure di atas kolom. Dan beban siklik dimodelkan dengan *displacement/rotation* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.9 Prosedur pembebanan siklik



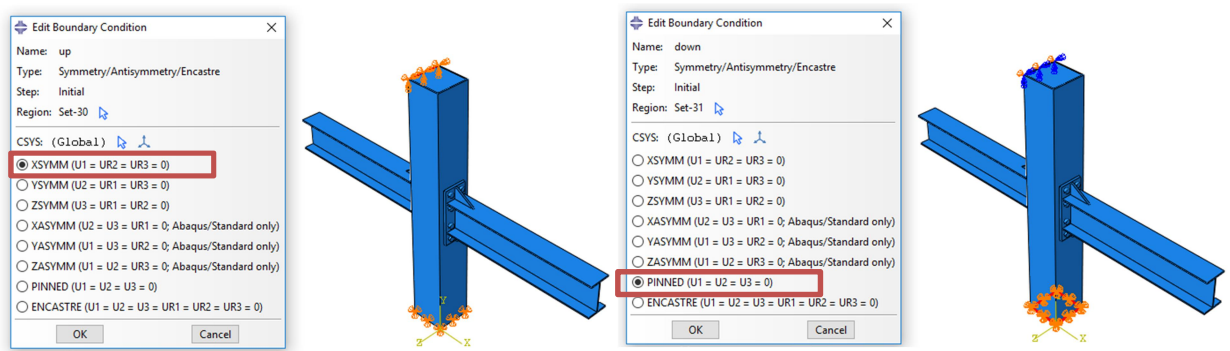
a. Beban axial

b. Beban siklik

Gambar 4.10 Pembebanan pada program Abaqus

4.2.5 Boundary Condition

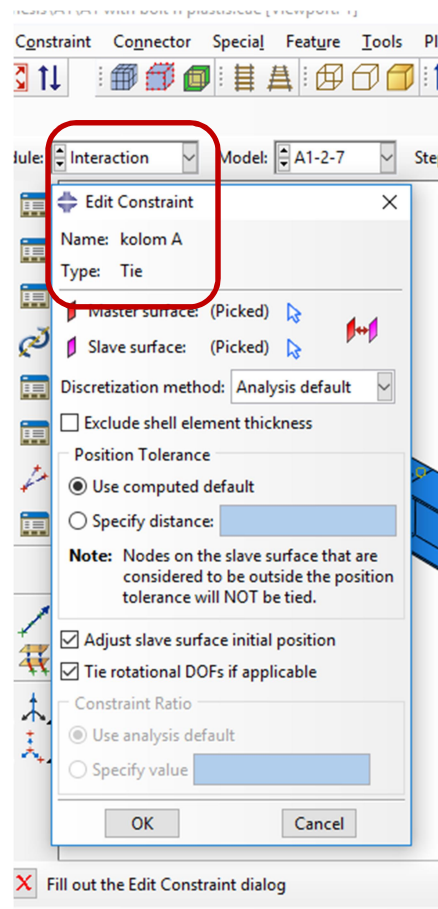
Boundary condition atau perletakan yang digunakan adalah rol dan sendi terlihat pada Gambar 4.11. Perletakan rol berada pada atas ujung kolom, didalam program Abaqus memilih modul boundary condition XSYMM supaya mengunci arah X agar tidak dapat bergerak, sedangkan untuk perletakan sendi berada pada bawah dasar kolom berupa *pinned* dimana dapat mengunci pemodelan sehingga tidak bergerak ke arah X, Y ataupun Z. Boundary condition yang ada sudah sesuai dengan eksperimental sebelumnya seperti pada skema pemodelan Gambar 3.7.



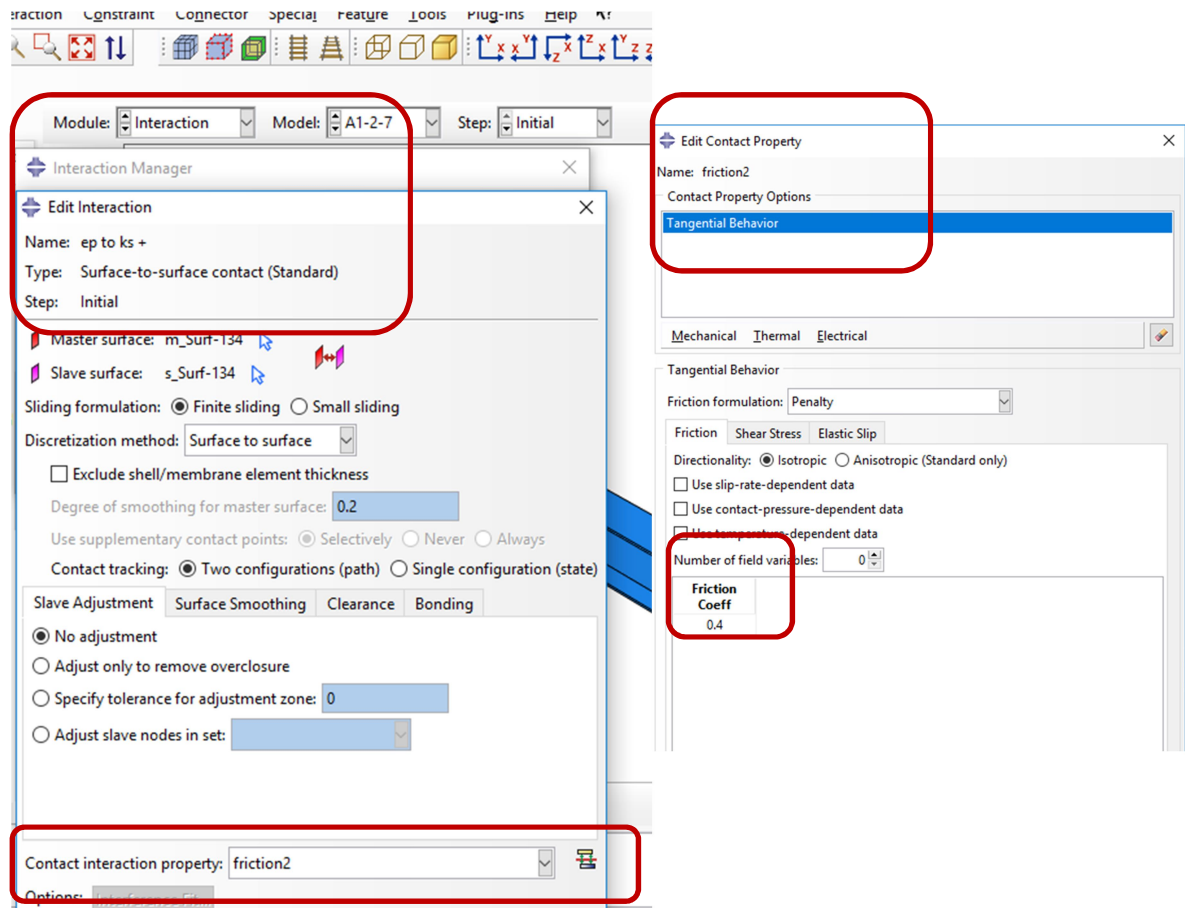
Gambar 4.11 Boundary Condition pada pemodelan

4.2.6 Interaction

Modul *Interaction* berfungsi untuk menentukan bidang kontak atau jenis interaksi yang dialami pemodelan. Interaksi pemodelan dibagi menjadi dua yaitu antara beton dengan baja dan antara baja dengan baja. Interaksi pada beton dengan baja menggunakan *constraints-tie* karena hubungan antara beton dan baja bekerja secara utuh tanpa adanya selip yang terjadi. Interaksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12. Sedangkan untuk interaksi pada baja dengan baja menggunakan *surface to surface* dimana terdapat *friction* untuk menentukan nilai gesekan yang terjadi antara baja seperti terlihat pada Gambar 4.13.



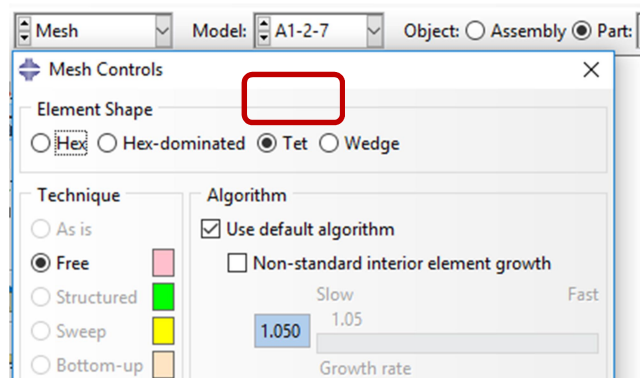
Gambar 4.12 Interaksi antara beton dengan baja



Gambar 4.13 Interaksi baja dengan baja

4.2.7 Mesh

Mesh berfungsi membagi geometri pemodelan menjadi node dan elemen. Pada modul mesh, dapat menentukan jenis mesh yang akan digunakan serta mengontrol jenis mesh yang diberikan pada pemodelan. Jenis mesh yang digunakan pada pemodelan adalah tetra. Pemilihan jenis mesh dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pemilihan jenis Mesh

4.2.8 Job

Modul *Job* berfungsi untuk mendeskripsikan model kemudian melakukan analisa numerik. Pada modul ini bisa dikontrol apakah simulasi yang dilakukan berhasil atau tidak. Jika terjadi *error message* di dalam *prompt area* maka bisa kembali ke modul sebelumnya untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi selama proses *interasi numeric*.

4.3 Hasil Pemodelan Sambungan dengan Program Bantu Abaqus

Dari data meterial dan pola pembebanan yang digunakan sebagai parameter *input* dalam program bantu Abaqus, didapatkan hasil berupa *deformation shape* dan kurva siklik hubungan antara beban lateral dengan *displacement*.

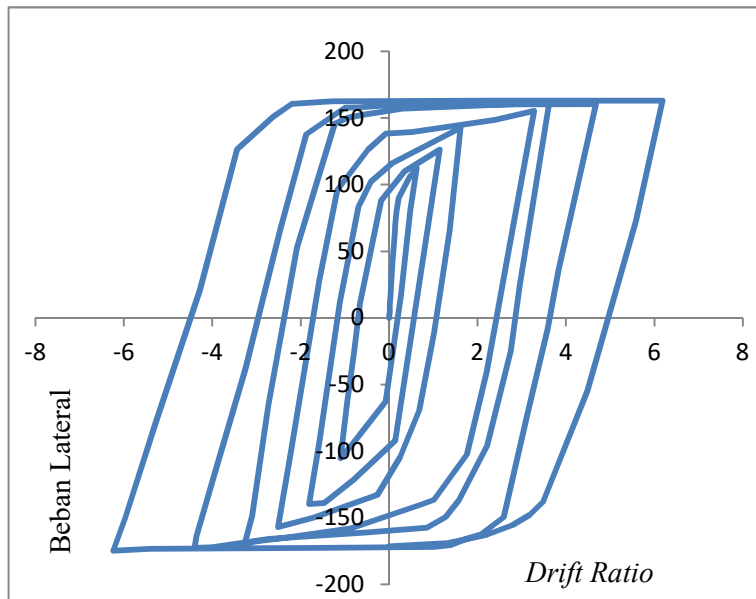
4.3.1 Hubungan Antara Beban Lateral dan Displacement

4.3.1.1 Hysteretic Loops

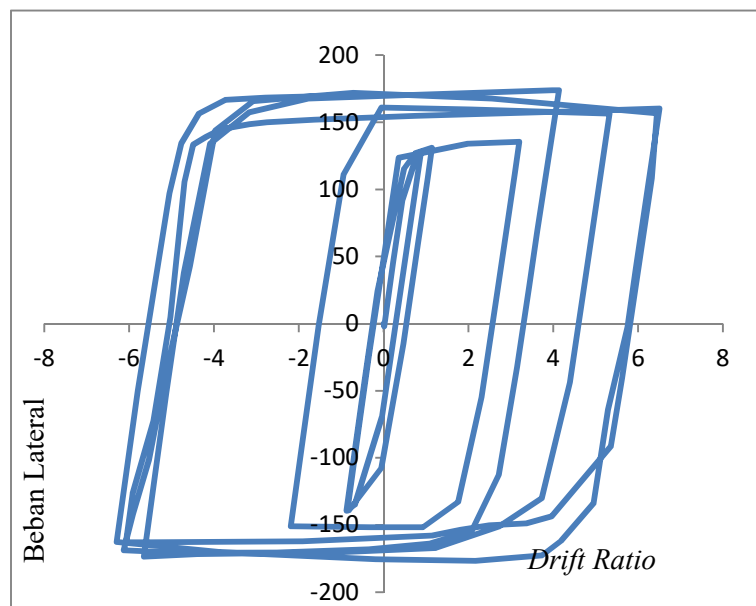
Hysteretic loops dihasilkan dari pengujian dengan pembebanan bolak balik yang merupakan hubungan antara beban dan simpangan, hubungan ini modulnunjukkan kapasitas dan perilaku struktur dalam menerima dan menahan beban pada setiap siklusnya. Hasil kurva histeresis pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.

Gambar 4.16 menunjukkan pemodelan A1 memiliki gaya ultimate akibat tekan sebesar 163.01 kN dan drift ratio 4.8%. Sedangkan gaya ultimate akibat tarik sebesar 174.6 kN dengan *drift ratio* 6.24%. Untuk Gambar 4.17 terlihat hasil pemodelan A2 dengan gaya ultimate akibat tekan sebesar 173.93 kN dengan *drift ratio* 5.34% dan gaya ultimate akibat tarik sebesar 173.5 kN dengan *drift ratio* 5.6%. Untuk perbandingan pada setiap pemodelan akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

Pemodelan A1 mengalami leleh pertama pada step 17 dengan displacement sebesar 1.93 mm dan beban lateral sebesar 90.08 kN. Untuk pemodelan A2, leleh pertama berada pada step 15 dengan displacement 4.5 mm dan beban lateral sebesar 92.23 kN.



Gambar 4.15 *Hysteresis loop* spesimen A1



Gambar 4.16 *Hysteresis loop* spesimen A2

4.3.2 Daktilitas

Faktor daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan ultimit dan simpangan pada saat terjadinya leleh pertama, sebagaimana menunjukkan persamaan berikut ini (SNI 1726:2002) :

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots (4.1)$$

Hasil analisis dari masing-masing pemodelan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Faktor Daktilitas Pemodelan A1 dan A2

No	Spesimen	Defleksi Failure	Defleksi Yield	Faktor Daktilitas
		Δ_u (mm)	Δ_y (mm)	μ
1	A1	7.04	1.93	3.65
2	A2	8.85	4.5	1.97

Berdasarkan persyaratan dalam SNI 1726:2002, hasil daktilitas spesimen A1 dan A2 memenuhi persyaratan daktail parsial, dengan syarat sebesar $1.5 < \mu < 5$. Untuk perbandingan analisis pemodelan dan eksperimen selanjutnya akan dijelaskan pada sub bab 4.5

4.3.3 *Drift Ratio*

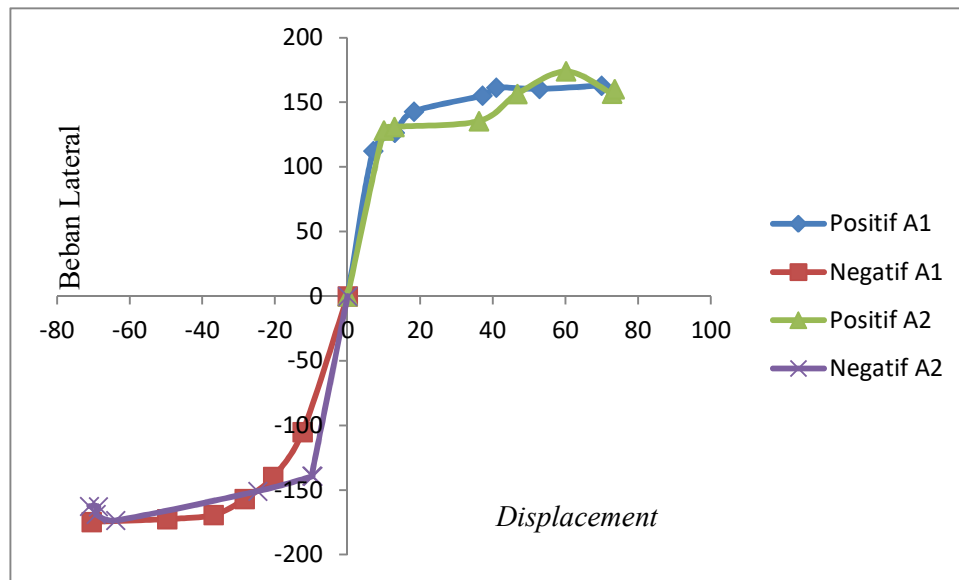
Drift Ratio merupakan perbandingan antara defleksi lateral yang terjadi akibat beban lateral dibandingkan dengan panjang beban lateral. *Drift ratio* dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung. Besarnya *drift ratio* untuk masing-masing spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.3. *Drift ratio* diambil ketika beban lateral dalam kondisi maximum. Pemodelan A2 memiliki *drift ratio* lebih kecil daripada pemodelan A1 pada saat beban lateral maximum. Tetapi pemodelan A2 memiliki beban lateral yang lebih besar dari pemodelan A1.

Tabel 4.3 *Drift Ratio* Pemodelan A1 dan A2

No.	Specimen	Beban lateral	Drift Ratio (%)
		Maximum (kN)	
1	A1	163.01	4.8
2	A2	173.93	4.13

4.3.4 Envelope Curve

Envelope curve terdiri dari beban puncak siklus pertama dari masing-masing siklus pembebanan lateral bolak balik. Displacement arah positif menghasilkan *envelope curve* positif sedangkan displacement negatif menghasilkan *envelope curve* negatif.



Gambar 4.17 *Envelope curve* pemodelan A1 dan A2

Dari Gambar 4.17 terlihat bahwa kapasitas beban lateral maksimal untuk spesimen A1 sebesar 163.01 kN pada displacement 69.88 mm, dan untuk spesimen A2 sebesar 173.93 kN pada displacement 60.16 mm. Gambar 4.18 menunjukkan bahwa kapasitas beban lateral spesimen A2 lebih besar dari kapasitas beban spesimen A1. Sehingga spesimen A2 lebih mampu menahan beban lateral daripada spesimen A1.

4.3.5 Deformation shape Pemodelan dengan Program Bantu Abaqus

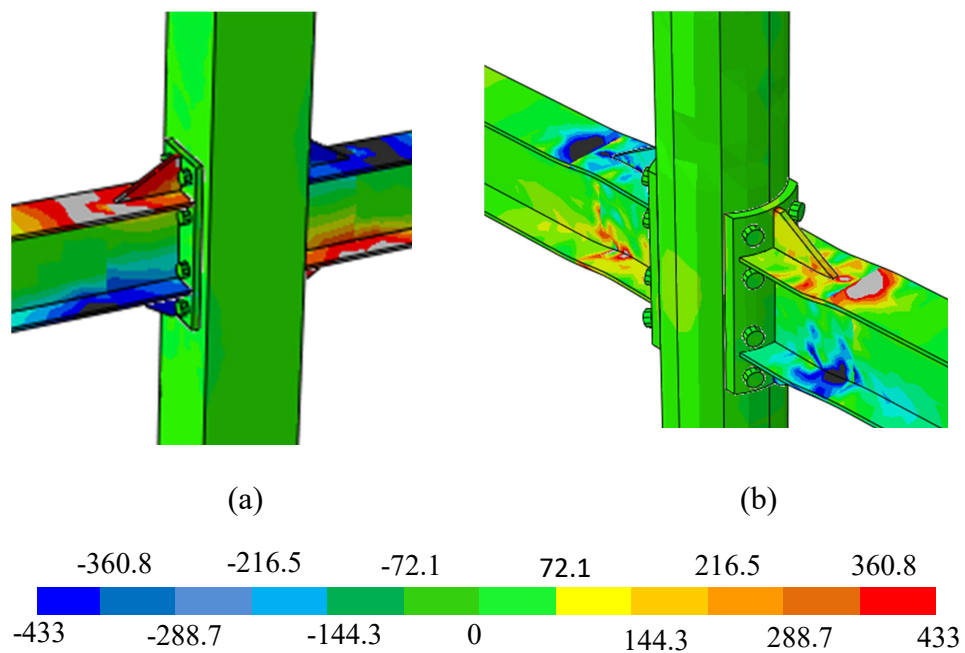
Pada pemodelan Abaqus step awal diberi beban axial dari atas kolom dan pada step selanjutnya diberi pembebanan siklik pada bagian kedua sisi balok. Hasil dari pemodelan dengan program bantu *finite elemen* adalah *deformation shape* dimana dapat dilihat contour stress pada pemodelan.

4.3.5.1 Analisa Distribusi Tegangan pada Pemodelan A1 dan A2

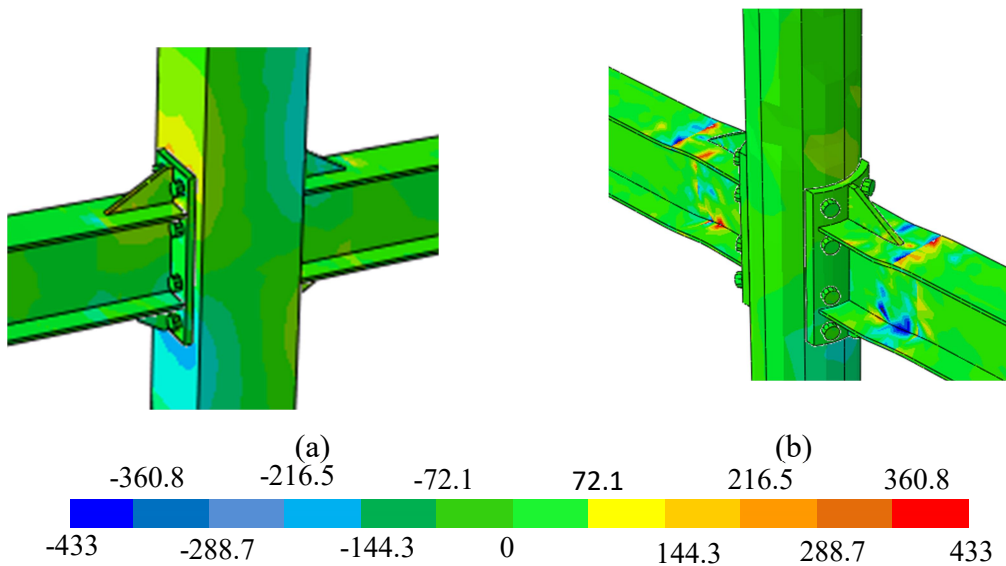
Tegangan S11 adalah tegangan pada arah X yaitu arah horizontal tegak lurus kolom. Dapat dilihat pada Gambar 4.19 deformation shape tegangan normal arah X.

Nilai tegangan arah X (S11) pemodelan A2 lebih kecil daripada pemodelan A1. Tegangan S22 merupakan tegangan pada arah Y yaitu arah vertikal tegak lurus balok baja. Tegangan terbesar terjadi pada arah Y disebabkan beban axial dan beban siklik terjadi pada arah Y terjadi cukup besar sehingga mempengaruhi struktur tersebut. Ditinjau dari hasil tegangan arah Y (S22) pemodelan A2 juga lebih mampu menahan beban ke arah Y. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan A2 lebih mampu menahan beban arah X dan Y dibandingkan pemodelan A1. Dari Gambar 4.18 sampai Gambar 4.20 merupakan deformation shape tegangan normal terbesar terjadi pada balok baja.

Gambar 4.18 merupakan tegangan normal arah X (S11). Dari Gambar tersebut dapat dilihat tegang terbesar berada pada stiffener dan balok. Nilai tegangan normal (S11) pada balok yang berwarna merah telah mencapai nilai f_u mutu balok baja, sehingga pada bagian tersebut mengalami kegagalan.

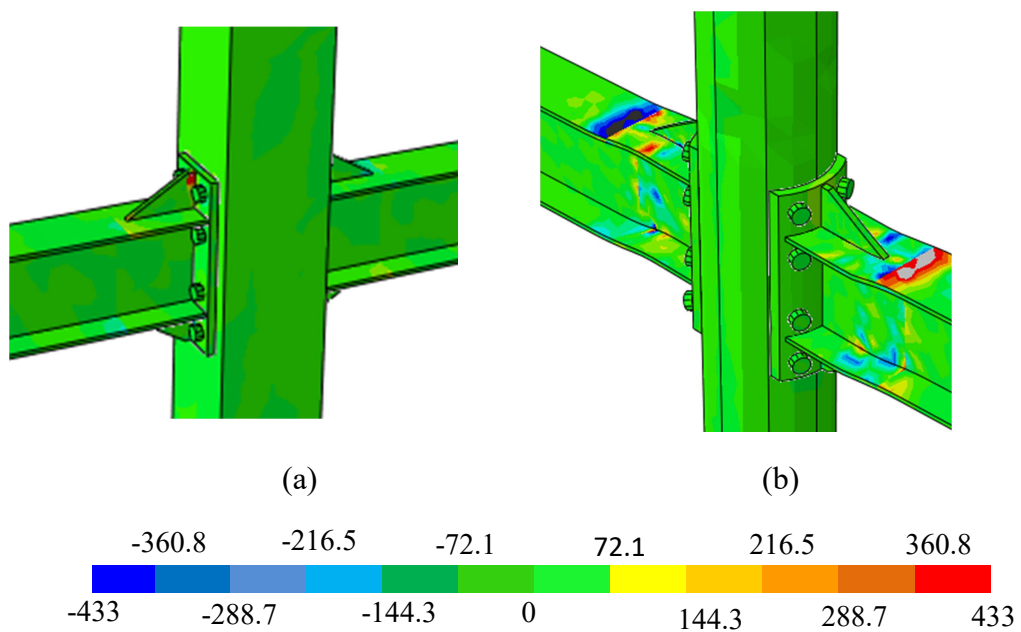


Gambar 4.18 Tegangan Normal (S11) (Mpa): (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2



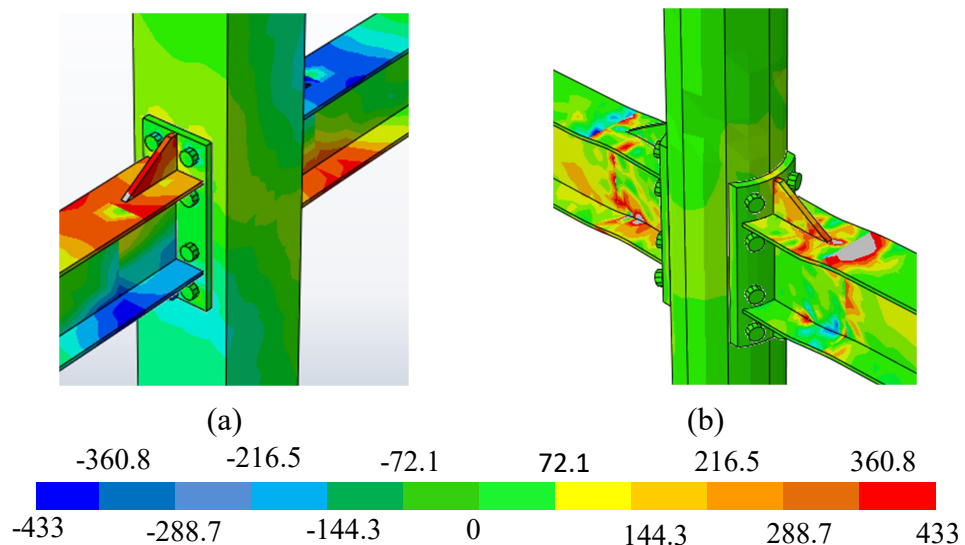
Gambar 4.19 Tegangan Normal (S22) (MPa): (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2

Gambar 4.20 merupakan tegangan normal arah Y (S22). Dari hasil deformation shape, tegangan normal S22 tampak lebih kecil dibandingkan tegangan normal S11. Tegangan terbesar S22 terjadi pada searah pada beban siklik bekerja.



Gambar 4.20 Tegangan Normal (S33) (MPa): (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2

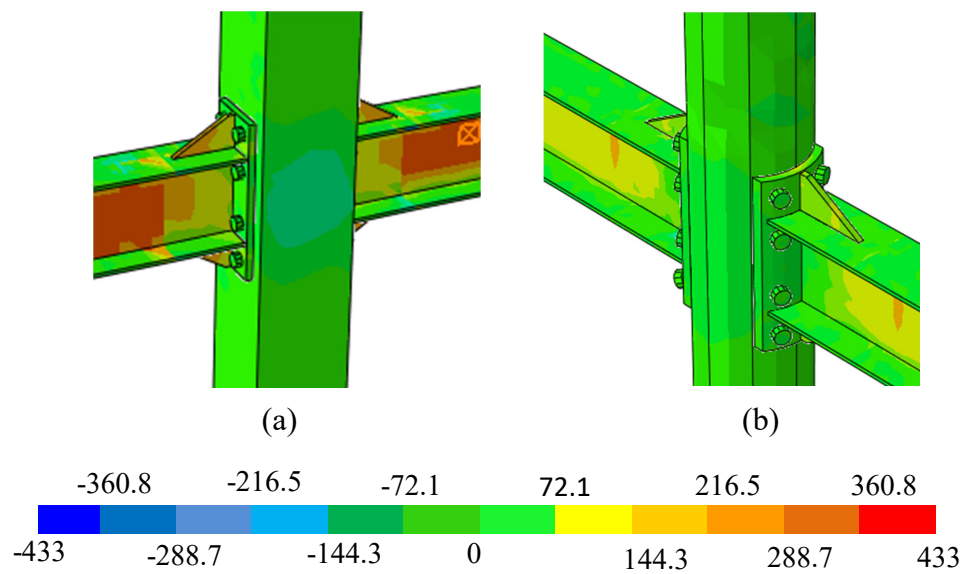
Gambar 4.21 merupakan tegangan normal arah Z (S33). Dari hasil deformation shape, tegangan normal S33 tampak lebih kecil dibandingkan tegangan normal S11 dan S22 karena beban dan bagian pemodelan tidak ke arah Z.



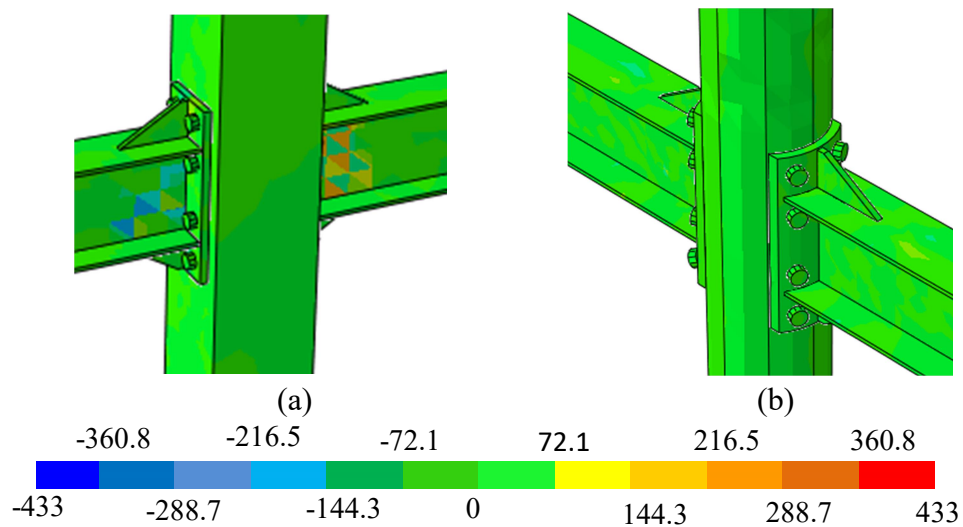
Gambar 4.21 Max principal stress (MPa): : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2

Max principal stress adalah tegangan terbesar yang terjadi pada struktur pemodelan. Dapat dilihat pada Gambar 4.21 tegangan terbesar terjadi pada balok baja, sehingga pemodelan ini termasuk dalam strong column weak beam.

Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 adalah deformation shape tegangan geser S12 dan S13 yang terjadi pada pemodelan A1 dan A2. Tegangan S12 pemodelan A2 sebesar 294.4 Mpa menunjukkan nilai yang lebih kecil dari tegangan S12 pemodelan A1 yaitu sebesar 246.8 Mpa. Untuk tegangan geser S13 pemodelan A2 sebesar 236.3 MPa lebih kecil dibandingkan nilai tegangan geser S13 sebesar 246.1 Mpa. Jika diperhatikan nilai tegangan geser pemodelan A2 memiliki kemampuan menahan beban yang lebih baik dibandingkan pemodelan A1. Ditinjau dari hasil tegangan geser, kedua pemodelan ini masih mampu dalam menahan gaya geser.



Gambar 4.22 Tegangan S12 (MPa): : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2



Gambar 4.23 Tegangan S13(MPa): : (a) pemodelan A1, (b) pemodelan A2

4.4 Verifikasi Hasil Eksperimen

Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil dari ekperimental dari Sheet et al (2013) dengan program bantu finite elemen Abaqus. Hasil pemodelan dengan program bantu *finite element* (Abaqus) merupakan sebuah pendekatan. Sehingga hasilnya tidak sama persis dengan hasil penelitian atau eksperimen. Pada Tabel 4.4 dibawah ini menunjukkan nilai perbedaan antara eksperimen dengan pemodelan A1.

Dimana selisih nilai maksimal beban lateral sebesar 9.97 kN dan nilai minimum beban lateral sebesar 4.52 kN. Drift ratio pemodelan A1 telah memenuhi syarat eksperimen dimana nilai yang diminta adalah lebih besar dari 5%.

Tabel 4.4 Verifikasi Ekperimen dengan Pemodelan A1

No.	Spesimen	Beban Lateral (kN)		<i>Drift ratio</i> (%)
		Max	Min	
1	Ekspeimen 1	172.98	179.13	> 5
2	Pemodelan A1	163.01	174.61	6.24
Selisih		9.97	4.52	Ok!

Tabel 4.5 Verifikasi Ekperimen dengan Pemodelan A2

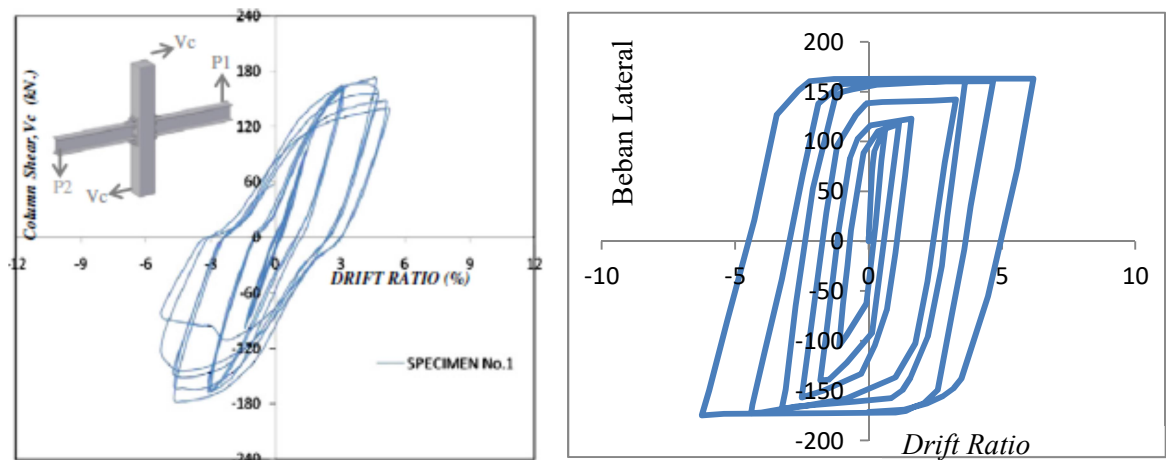
No.	Spesimen	Beban Lateral (kN)		<i>Drift ratio</i> (%)
		Max	Min	
1	Ekspeimen 2	175.77	181.57	> 5
2	Pemodelan A2	173.93	173.49	6.5
Selisih		1.84	8.08	Ok!

Tabel 4.5 menunjukkan nilai perbedaan antara eksperimen dengan pemodelan A2. Dimana selisih nilai maksimal beban lateral sebesar 1.84 kN dan nilai minimum beban lateral sebesar 8.08 kN. Drift ratio pemodelan A2 juga telah memenuhi syarat eksperimen dimana nilai yang diminta adalah lebih besar dari 5%.

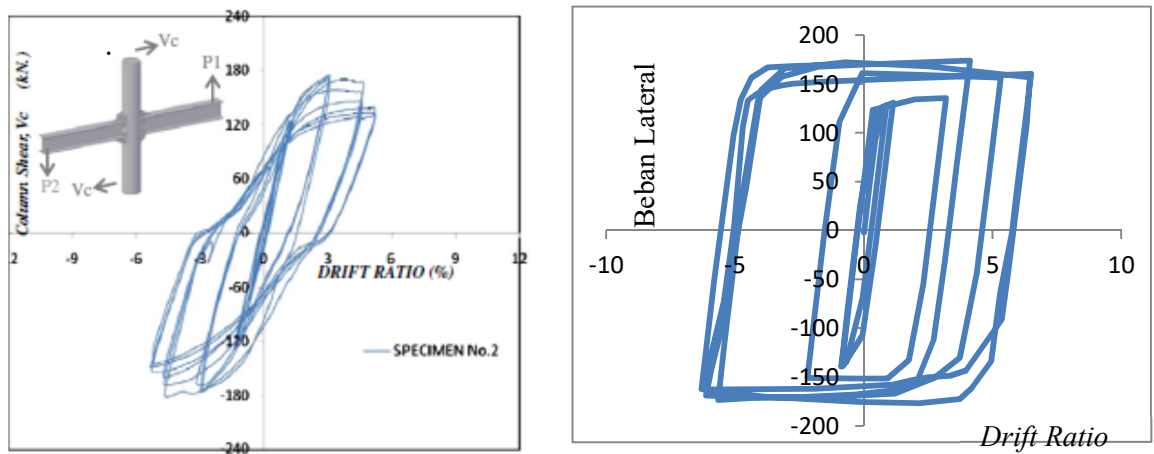
Dari analisa *hyteresis loop*, pemodelan A1 dan A2 dengan eksperimen jauh berbeda tetapi nilai dari kurva tersebut telah mendekati dengan hasil eksperimen seperti yang telah dijelaskan di atas. Perbandingan analisa *hyteresis loop* pemodelan A1 dengan eksperimen terlihat pada Gambar 4.24 dan untuk perbandingan analisa *hyteresis loop* pemodelan A2 dengan eksperimen terlihat pada Gambar 4.25.

Hasil dari analisis dengan finite elemen memberikan nilai beban lateral mendekati dengan hasil eksperimen. Perbedaan hasil ini bisa disebabkan karena adanya ke tidak sempurnaan geometri dan material yang digunakan pada pemodelan *finete*

elemen. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan menggunakan program bantu *finite element* dapat memprediksi perilaku sambungan dengan baik.



Gambar 4.24 Perbandingan *hysteresis loop* eksperimen dengan spesimen A1



Gambar 4.25 Perbandingan *hysteresis loop* eksperimen dengan spesimen A2

4. 6 *Buckle*

Pada pemodelan ini juga dilakukan running untuk memodelkan buckling. Pemodelan *buckling* ini untuk mengetahui dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya.

Pemodelan buckling yang dilakukan menggunakan step *static-riks*. Pemodelan *static-riks* sendiri tidak dapat memodelkan suatu beban siklik. Sehingga hasil yang didapatkan adalah nilai *displacement* dan beban lateral dimana struktur telah mengalami buckling. Pada pemodelan ini nilai sudah mendekati dengan hasil eksperimental dan dengan nilai pemodelan numeric yang telah dilakukan pada tesis ini. Hasil dari pemodelan *buckling* dapat dilihat pada kurva seperti terlihat pada Gambar 4.26 untuk pemodelan A1 dan Gambar 4.27 untuk pemodelan A2.

Pada Tabel 4.6 menunjukkan selisih antara pemodelan A1 dengan eksperimental 1. Nilai beban lateral dan displacement sudah mendekati dengan nilai eksperimental. Dimana selisih *maximum force* memiliki selisih sebesar 5.67 kN, sedangkan untuk hasil *displacement* sebesar 5.55 mm. Nilai *displacement* diambil saat struktur telah mengalami *buckling*.

Tabel 4.9 merupakan hasil perbandingan antara pemodelan A2 dengan ekperimental 2. Dimana selisih *maximum force* memiliki selisih sebesar 1.18 kN, sedangkan untuk hasil *displacement* sebesar 9.46mm. nilai seisih displacement model A2 lebih besar dibandingkan pemodelan A1.

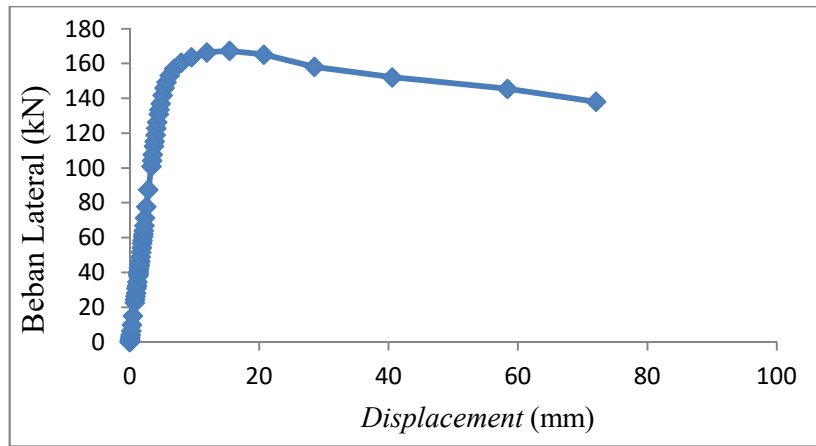
Dari hasil perbandingan dengan metode static-riks pemodelan A2 memiliki perilaku lebih mampu menahan beban lateral. Namun, hasil pemodelan A1 lebih mendekati dengan nilai eksperimental sebelumnya.

Tabel 4.6 Perbandingan hasil pemodelan A1 dengan eksperimental

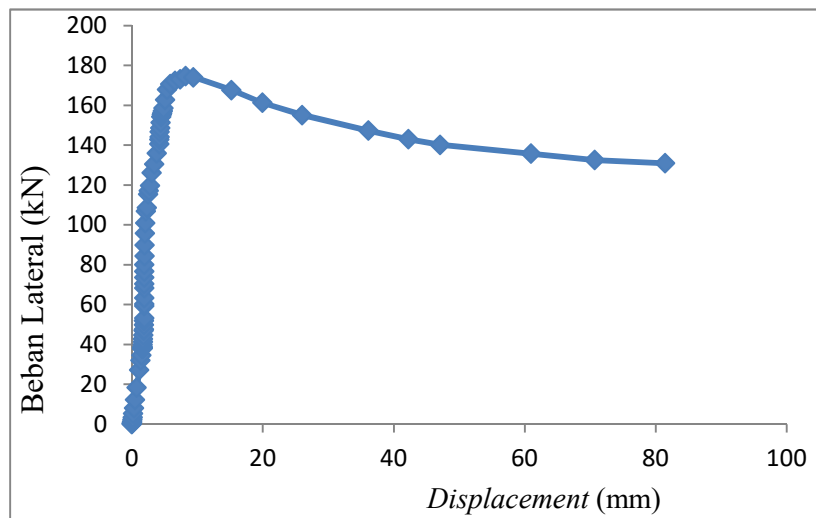
No.	Spesimen	<i>Maximum Force</i> (kN)	<i>Displacement</i> (mm)
1	Eksperimental 1	172.98	77.63
2	Pemodelan A1	167.31	72.08
3	Selisih	5.67	5.55

Tabel 4.7 Perbandingan hasil pemodelan A2 dengan eksperimental

No.	Spesimen	<i>Maximum Force</i> (kN)	<i>Displacement</i> (mm)
1	Eksperimental 2	175.77	83.91
2	Pemodelan A2	174.59	74.45
3	Selisih	1.18	9.46



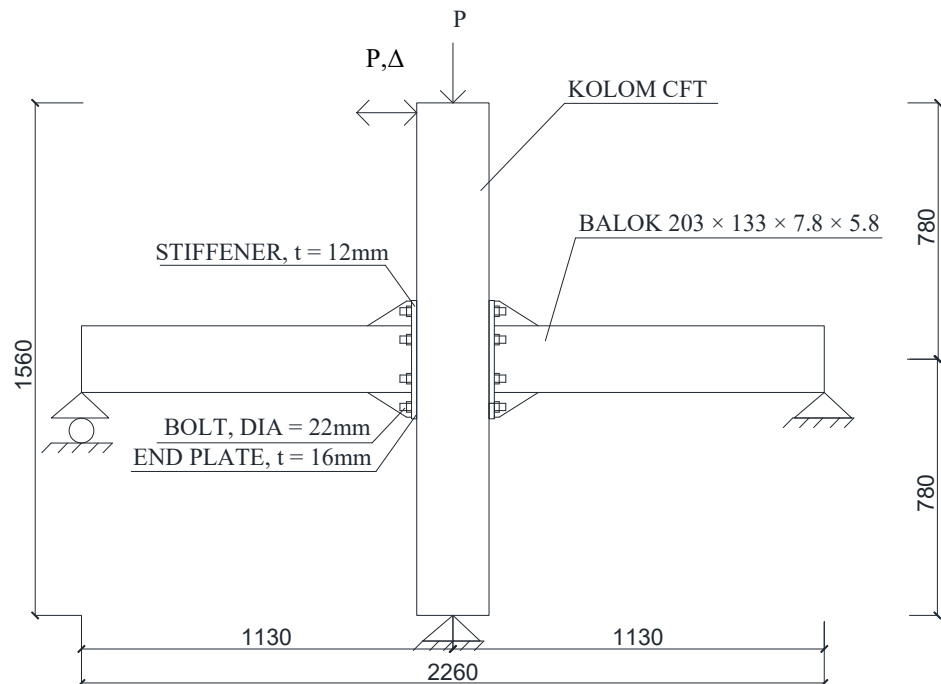
Gambar 4.26 Kurva *Force-Displacement* Model A1 dengan metode *static-riks*.



Gambar 4.27 Kurva *Force-Displacement* Model A2 dengan metode *static-riks*.

4.7 Pemodelan Lanjutan

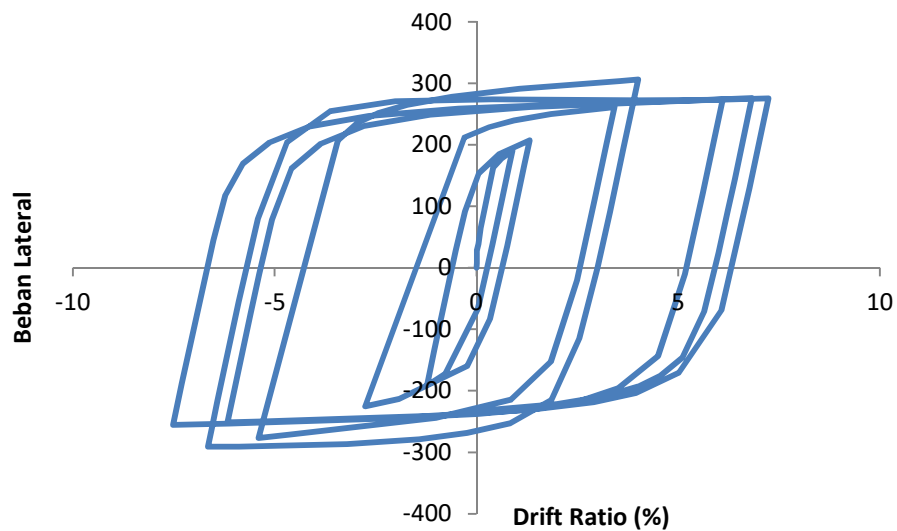
Pemodelan lanjutan ini menggunakan detail sambungan yang sama dengan pemodelan sebelumnya, namun perbedaan terletak pada beban siklik. Pemodelan sebelumnya beban siklik terjadi pada balok, namun pada pemodelan lanjutan ini beban siklik terjadi pada kolom. Sehingga beban siklik diasumsikan beban gempa sebenarnya. Gambar 4. 28 menunjukkan skema pemodelan lanjutan pada program bantu abaqus.



Gambar 4.28 Pemodelan lanjutan dalam program Abaqus

Pada pemodelan lanjutan menggunakan model A1 karena hasil pemodelan A1 lebih mendekati dengan eksperimental sebelumnya dibandingkan pemodelan A2.

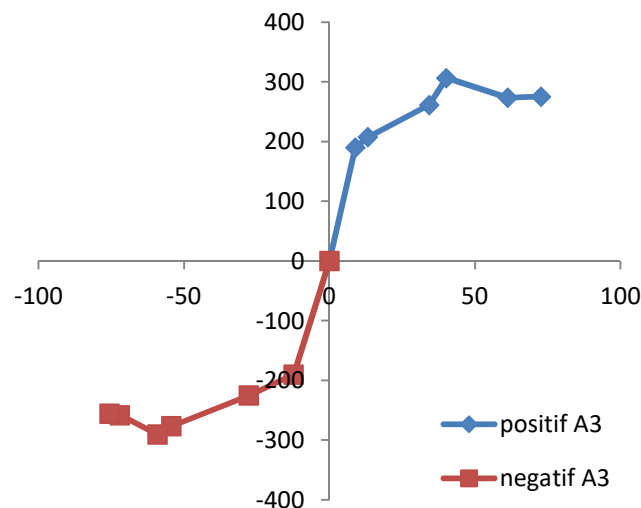
Gambar 4.29 menunjukkan hasil *hysteresis loops* pada pemodelan B1 yaitu menggunakan tipe sambungan dengan kolom *rectangular concrete filled steel tube*.



Gambar 4.29 *Hysteresis loop* spesimen B1

Daktilitas yang terjadi pada pemodelan B1 menunjukkan telah memenuhi persyaratan daktail parsial, dengan syarat sebesar $1.5 < \mu < 5$. Defleksi failure yang terjadi sebesar 190.2 kN dan untuk defleksi yield sebesar 64.89 kN. Sehingga bila menggunakan rumus 4.1 akan didapat nilai 2.93.

Untuk hasil drift ratio dari pemodelan lanjutan tidak jauh berbeda dengan nilai drift ratio pemodelan sebelumnya yaitu sebesar 4.01%. Dari Gambar 4.30 terlihat bahwa kapasitas beban lateral maksimal untuk spesimen B1 sebesar 157.89 kN pada displacement 40.24 mm.



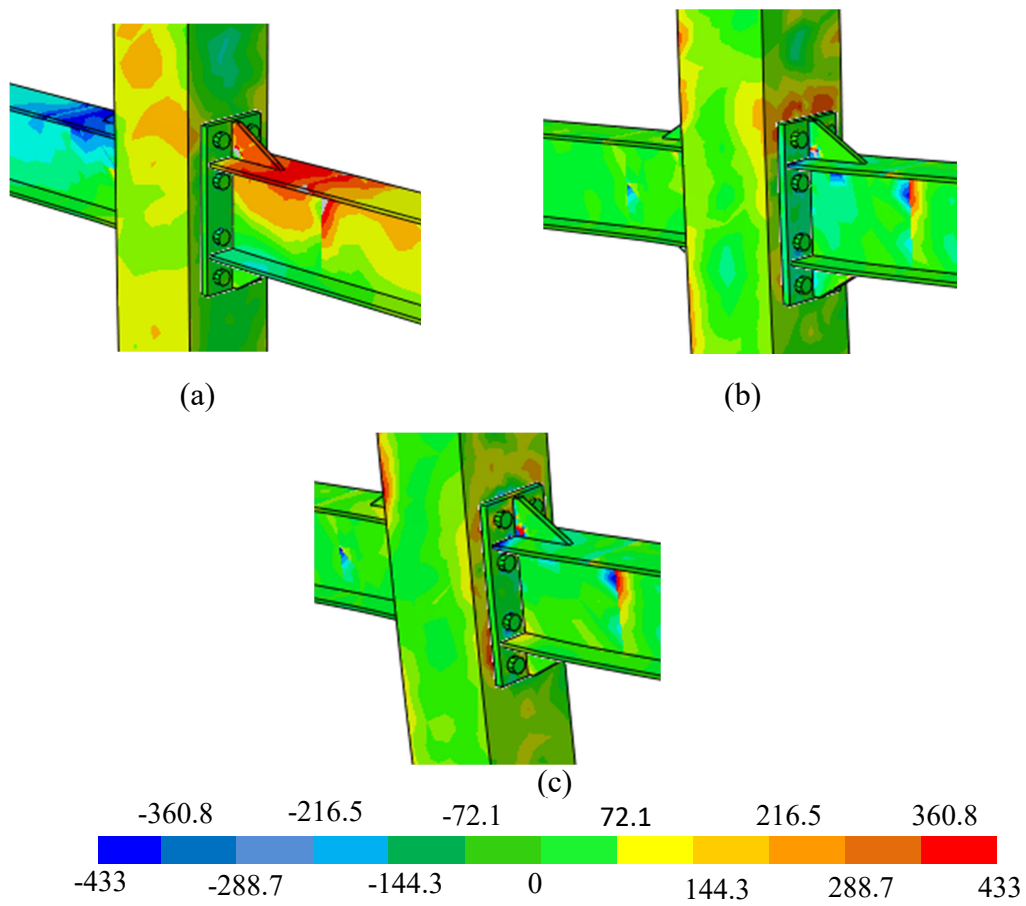
Gambar 4.30 *Envelope curve* pemodelan B1

4.7.1 Distribusi Tegangan Akibat Beban Siklik Pada Model B1

Pemodelan lanjutan mengalami beban axial di atas kolom pada step 1, dan pembebanan siklik terjadi pada step selanjutnya berada di muka kolom. Beban siklik terjadi ke arah x. Berikut merupakan distribusi tegangan pada pemodelan lanjutan.

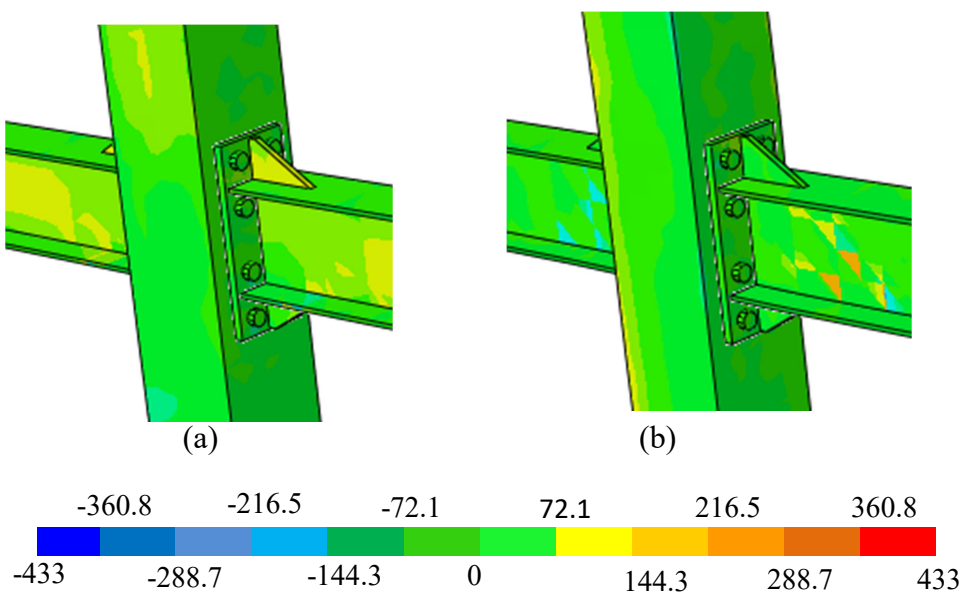
Terlihat pada Gambar 4.31 adalah distribusi tegangan pada sumbu utama, yaitu sumbu x, y dan z. Pemodelan B1 sudah mengalami leleh pertama pada step 6 dimana beban lateral sebesar 64.89 kN dan drift ratio 0.1%. Dapat dilihat dari deformation shape pemodelan B1 stress terbesar terjadi pada balok. Sehingga kegagalan pada pemodelan lanjutan ini terletak pada balok.

Pada Gambar 4.32 merupakan distribusi tegangan yang terjadi pada pemodelan lanjutan dimana, merupakan distribusi tegangan S12 dan S13. Tegangan S12 adalah tegangan arah x-y dan tegangan S13 adalah tegangan x-z.



Gambar 4.31 Distribusi tegangan pada pemodelan lanjutan (a) S11; (b) S22;

(b) S33



Gambar 4.32 Distribusi tegangan pada pemodelan lanjutan (a) S12; (b) S13.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan penelitian sebagai berikut :

1. Dalam tesis ini menggunakan 2 metode dalam pemodelan. Untuk metode pertama, pembebanan pemodelan dalam program bantu Abaqus menggunakan beban axial dan siklik. Pembebanan axial menggunakan *static-general* dimana aplikasi beban pada pemodelan menggunakan beban *pressure*. Sedangkan, beban siklik menggunakan *static-general* dengan aplikasi menggunakan *displacement/rotation*. Metode ke dua, pembebanan dilakukan dengan *static-risk* dimana struktur mengalami buckling.
2. Memodelkan sambungan antara dua bentuk menggunakan modul part dalam abaqus dan memberikan interaksi yang dialami pemodelan. . Interaksi pemodelan dibagi menjadi dua yaitu antara beton dengan baja dan antara baja dengan baja. Interaksi pada beton dengan baja menggunakan *constraints-tie* karena hubungan antara beton dan baja bekerja secara utuh tanpa adanya selip yang terjadi. Sedangkan untuk interaksi pada baja dengan baja menggunakan *surface to surface* dimana terdapat *friction* untuk menentukan nilai gesekan yang terjadi antara baja .
3. Perilaku yang dihasilkan dari pemodelan A1 dan A2 mengalami kegagalan pada bagian balok, dimana memenuhi persyaratan strong column weak beam. Daktalitas pemodelan A1 dan A2 memenuhi persyaratan daktail parsial, dengan syarat sebesar $1.5 < \mu < 5$. Namun ditinjau dari *drift ratio*, pemodelan A2 lebih daktail dibandingkan pemodelan A1.
4. Dengan metode pertama, hasil dari beban lateral dan *displacement*, beban lateral maksimal untuk spesimen A1 sebesar 163.01 kN pada *displacement* 69.88 mm, dan untuk spesimen A2 sebesar 173.93 kN pada *displacement* 60.16 mm. Sehingga spesimen A2 lebih mampu menahan beban lateral daripada spesimen A1. Dengan metode ke dua, hasil dari beban lateral dan *displacement*, beban lateral maksimal untuk spesimen A1 sebesar 167.31 kN dengan *displacement* sebesar 72.08 mm, dan untuk spesimen A2 sebesar 174.59 kN pada *displacement* 74.45 mm. Hasil dari beban lateral, pemodelan A2 lebih mampu

menahan beban lateral, namun pemodelan A1 memiliki nilai *displacement* lebih baik karena lebih mendekati dengan nilai eksperimental sebelumnya.

5. Hasil pemodelan numeric dengan menggunakan program Abaqus telah mendekati dengan hasil eksperimen sebelumnya. Untuk pemodelan A1 memiliki selisih yang lebih besar dibandingkan dengan A2. Namun *drift ratio* yang didapat lebih mendekati hasil eksperimen dibandingkan dengan pemodelan A2. Pemodelan dengan program bantu Abaqus menghasilkan nilai *drift ratio* sama dengan eksperimen yaitu lebih dari 5%.
6. Perilaku yang terjadi sama seperti perilaku pemodelan sebelumnya, yaitu model A1 (*rectangular CFT*).. Namun memiliki beban lateral yang lebih besar dan memiliki *displacement* yang lebih besar. Pemodelan B1 mampu menahan beban siklik pada muka atas kolom dan termasuk memenuhi persyaratan daktilitas daktail parsial dari ketentuan SNI 1726:2002.

DAFTAR PUSTAKA

- Alostaz, Yousef M., and Schneider, Stephen P., 1996. "*Connections to Concrete Filled Steel Tube.*" Urbana.
- Anderson, D., Clifton, C., Leon, R.T., 2012. "*Composite Steel-Concrete Construction for New Zealand.*" New Zealand.
- Dessouki, Abdelrahim K., Yousef, Ahmed H. and Fawzy, Mona M., 2013. "*Stiffener Configurations in Moment Connections Between Steel I-Beams and Concrete-Filled Steel Tube Columns.*" Cairo.
- Denavit, Mark D., and Hajjar, Jerome F., 2010. "*Nonlinear Seismic Analysis of Circular Concrete-Filled Steel Tube Members and Frames.*" Urbana.
- Elremaily, A. and A.Azizinamini. 2001, "*Experimental behavior of steel beam to CFT column connections.*" Journal of Constructional Steel Research, 57(10): 1099-1119.
- Fukumoto, T., 2005. "*Steel beam to concrete-filled steel tube column, moment connections in Japan.*" Steel Structures, 5: 357-365.
- Kurobane, Y., J.A. Packer, J. Wardenier and N. Yeomans, 2004. "*Design guide for structural hollow section column connections*". CIDECT, pp: 9.
- Leon, Roberto., Perea, Tiziano., 2010. "*Concrete-Filled Tubes Columns and Beam-Columns: A Database for the AISC 2005 and 2010 Specifications.*"
- Lu, L.H., 1997. "*The static strength of I-beam to rectangular hollow section column connections*". Ph.D. Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.

- Morino, S. and K. Tsuda. 2003. "*Design and construction of concrete-filled steel tube column system in Japan.*" Earthquake Engineering and Engineering Seismology 4(1): 51-73.
- Perea, T., R. T. Leon, M. D. Denavit, and Hajjar, J. F., 2010. "*Experimental tests on cyclic beam-column interaction strength of concrete-filled steel tubes,*" Proceedings of the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering. Toronto, Canada.
- Rasidi, Nawir., Soehardjon, Agoes., and Dewi, Sri Murni. 2011. "*Performance of Steel Structures under Fatigue Cyclic Loading.*" Volume 5, No. 3 (Serial No. 40), pp. 265-272 Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA.
- Shin, K.-J., Y.-J. Kim, et al. 2004. "*Behavior of welded CFT column to H-beam connections with external stiffeners.*" Engineering Structures 26(13): 1877-1887.
- Sheet, Ikhlas S., Gunasekaran, Umarani, MacRae, Gregory A., 2013. "*Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading.*" Elsevier